

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

| Тема работы |
|--|
| Закономерности аннигиляции позитронов в углеродных нанотрубках в зависимости от давления |

УДК 539.124.6:620.18

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-------------|---------|------|
| 150Б51 | Ван Яньчжао | | |

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Лаптев Роман Сергеевич | К.Т.Н. | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Контопский Владимир Юрьевич | К.Э.Н. | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------------------|-------------------------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель ООД ШБИП | Скачкова Лариса Александровна | | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|------------|------------------------|---------|------|
| Руководитель ОЭФ | Лидер А.М. | Д.Т.Н., доцент | | |

Томск – 2019 г.

Запланированные результаты обучения по программе

| Код результата | Результат обучения (выпускник способен) | Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон |
|---|---|--|
| <i>Общекультурные компетенции</i> | | |
| P1 | Использовать основные этапы и закономерности исторического развития общества, основы философских, экономических, правовых знаний для формирования мировоззренческой, гражданской позиций и использования в различных сферах жизнедеятельности | Требования ФГОСЗ+ (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4) |
| P2 | К самоорганизации и самообразованию, работать в коллективе, к коммуникации в устной и письменной формах, в том числе на иностранном языке, толерантно воспринимать социальные, этические и культурные различия, использовать методы и средства физической культуры, приёмы первой помощи и методы защиты в условиях ЧС. | Требования ФГОСЗ+ (ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9) |
| <i>Общепрофессиональные компетенции</i> | | |
| P3 | Использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, современные концепции и ограничения естественных наук, использовать фундаментальные знания разделов общей и теоретической физики, математики для создания моделей и решения типовых профессиональных задач, в том числе с использованием знаний профессионального иностранного языка. | Требования ФГОСЗ+ (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-7) |
| P4 | Понимать сущность и значение информации, соблюдать основные требования информационной безопасности, использовать методы, способы, средства получения и хранения информации, решать стандартные задачи на основе информационной и библиографической культуры. | Требования ФГОСЗ+ (ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6) |
| P5 | Получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах, критически переосмысливать | Требования ФГОСЗ+ |

| | | |
|-------------------------------------|--|--|
| | накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности. | (ОПК-8, ОПК-9) |
| <i>Профессиональные компетенции</i> | | |
| Р6 | <u>Научно-исследовательская деятельность</u> Проводить научные теоретические и экспериментальные исследования в областях: материаловедения, атомной и ядерной физики, водородной энергетики, физики плазмы с помощью современной приборной базы с использованием специализированных знаний физики и освоенных профильных дисциплин. | Требования ФГОСЗ+ (ПК-1, ПК-2) |
| Р7 | <u>Научно-инновационная деятельность</u> Применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований, а также профессиональные знания и умения в результате освоения профильных дисциплин для проведения физических исследований в инновационных областях науки, используя современные методы обработки, анализа и синтеза информации. | Требования ФГОСЗ+ (ПК-3, ПК-4, ПК-5) |
| Р8 | <u>Организационно-управленческая</u> Использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований, участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме, понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования | Требования ФГОСЗ+ (ПК-6, ПК-7, ПК-8) |
| Р9 | <u>Педагогически-просветительская</u> Проектировать, организовывать, анализировать педагогическую деятельность, владеть последовательностью изложения материала с использованием междисциплинарных связей физики с другими дисциплинами, участвовать в информационно-образовательных мероприятиях по пропаганде и распространению научных знаний | Требования ФГОСЗ+ (ПК-9) |

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки (специальность) 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Литер А.М.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

| |
|---------------------|
| Бакалаврской работы |
|---------------------|

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|-------------|
| 150Б51 | Ван Яньчжао |

Тема работы:

| | |
|--|--|
| Закономерности аннигиляции позитронов в углеродных нанотрубках в зависимости от давления | |
| Утверждена приказом директора (дата, номер) | |

| | |
|--|--|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | |
|--|--|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|---|--|
| <p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p> | <p>Произвести настройку спектрометра временного распределения аннигиляции позитронов. Объектом исследования является одностенные углеродные нанотрубки. Осуществить измерение временного распределения аннигиляции позитронов в зависимости от давления при механическом нагружении и аргоном.</p> |
|---|--|

| | |
|--|---|
| <p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> – Обзор литературных источников; – Подготовка образцов; – Настройка спектрометра временного распределения аннигиляции позитронов; – Измерение временного распределения аннигиляции позитронов в одностенных углеродных нанотрубках в зависимости от давления при механическом нагружении и аргоном; – Анализ временных компонен, связанных с центрами захвата позитронов; – Анализ полученных результатов; – Социальная ответственность; – Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; – Заключение. |
|--|---|

| | |
|--|--|
| <p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p> | |
|--|--|

| | |
|---|--|
| <p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p> | |
|---|--|

| Раздел | Консультант |
|---|-------------------------------|
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Контопский Владимир Юрьевич |
| Социальная ответственность | Скачкова Лариса Александровна |

| |
|--|
| <p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p> |
|--|

| |
|--|
| |
| |

| | |
|--|--|
| <p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p> | |
|--|--|

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Лаптев Роман Сергеевич | к.т.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-------------|---------|------|
| 150Б51 | Ван Яньчжао | | |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|-------------|
| 150Б51 | Ван Яньчжао |

| | | | |
|---------------------|--|---------------------------|---|
| | Инженерная школа ядерных технологий | | Отделение экспери- ментальной физики |
| Уровень образования | Бакалавр | Направление/специальность | Физика |

| | |
|--|--|
| Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»: | |
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих | |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов | |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования | |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке: | |
| 1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения | |
| 2. Планирование и формирование бюджета научных исследований | Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет. |
| 3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования | |
| Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): | |
| 1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Альтернативы проведения НИ 3. График проведения и бюджет НИ 4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ | |

| | |
|---|--|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | |
|---|--|

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Контопский Владимир Юрьевич | | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-------------|---------|------|
| 150Б51 | Ван Яньчжао | | |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| Группа | | ФИО | |
|---------------------|-------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| 150Б51 | | Ван Яньчжао | |
| Школа | Инженерная школа ядерных технологий | Отделение (НОЦ) | Отделение экспериментальной физики |
| Уровень образования | Бакалавр | Направление/специальность | 03.03.02 «Физика» |

Тема ВКР:

| | |
|---|--|
| Закономерности аннигиляции позитронов в углеродных нанотрубках в зависимости от давления | |
| Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»: | |
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения | Прибор: фотоэлектронный умножитель, дискриминатор; Рабочая зона: лаборатория в ТПУ (3 корпус); Материал: углеродная нанотрубка Область альтернативной энергетики. |
| Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке: | |
| 1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. | <p>По данной теме рассматриваются законодательный и нормативные документы:</p> <p>инструкция № 2-25 по охране труда при выполнении работ на установке системы измерения спектра времени жизни позитронов;</p> <p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019);</p> <p>ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</p> <p>ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.</p> <p>ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.</p> <p>ГОСТ 21753-76. Система «человек-машина». Рычаги управления. Общие эргономические требования.</p> |
| 2. Производственная безопасность: <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p> | <p>Анализ выявленных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – шум |

| | |
|---|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> – электрический ток, – радиация <p>Применение изолированных резиновых перчаток и противорадиационной системы.</p> |
| 3. Экологическая безопасность: | <p>Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Влияние экспериментальных отходов на окружающую среду; |
| 4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: | <p>Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – пожар; – затопление. |
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | |

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель ООД ШБИП | Скачкова Лариса Александровна | | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-------------|---------|------|
| 150Б51 | Ван Яньчжао | | |

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Уровень образования бакалавриат

Направление подготовки 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

Период выполнения _____

Форма представления работы:

| |
|---------------------|
| бакалаврская работа |
|---------------------|

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

| | |
|--|--|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | |
|--|--|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|---|------------------------------------|
| 01.03.2018 | Аналитический обзор литературы | 15 |
| 01.09.2018 | Измерение времени жизни позитрона в углеродных нанотрубках при разных давлениях | 15 |
| 30.12.2018 | Обработка данных с помощью MELT | 20 |
| 30.04.2019 | Анализ результатов | 15 |
| 25.05.2019 | Социальная ответственность | 15 |
| 25.05.2019 | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 15 |
| 25.05.2019 | Заключение | 5 |

Составил преподаватель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Лаптев Роман Сергеевич | к.т.н. | | |

СОГЛАСОВАНО:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|------------|------------------------|---------|------|
| Руководитель ОЭФ | Лидер А.М. | Д.т.н., доцент | | |

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 93 с., 39 рис., 15 табл., 38 источников.

Ключевые слова: углеродная нанотрубка, порометрия, давление, время жизни позитрона, спектрометрия.

Объект исследования - одностенные углеродные нанотрубки, спектры временного распределения аннигиляции позитронов (ВРАП) которых от давления при механическом нагружении и давления аргона измерились нами. Проанализировав полученные спектры, получили закономерности ВРАП в одностенных углеродных нанотрубках в зависимости от механического давления и давления аргона.

Цель работы – анализ закономерностей временного распределения аннигиляции позитронов в одностенных углеродных нанотрубках в зависимости от механического давления и давления аргона.

Для достижения поставленной цели были определены **следующие задачи:**

- подготовка образцов;
- настройка спектрометра временного распределения аннигиляции позитронов;
- измерение временного распределения аннигиляции позитронов в одностенных углеродных нанотрубках в зависимости от давления при механическом нагружении;
- измерение временного распределения аннигиляции позитронов в одностенных углеродных нанотрубках в зависимости от давления аргона;
- анализ временных компонент, связанных с центрами захвата позитронов;

Область применения: результаты данной работы востребованы в области исследования способности сорбции газов углеродных нанотрубок.

Оглавление

| | |
|---|----|
| РЕФЕРАТ | 10 |
| Введение | 13 |
| ГЛАВА 1. Литературный обзор | 14 |
| 1.1 Структура и свойства углеродных нанотрубок | 14 |
| 1.1.1 Структура УНТ | 14 |
| 1.1.2 Свойства УНТ | 17 |
| 1.2 Позитронная спектроскопия (ПС) | 18 |
| 1.2.1 Позитрон и аннигиляция | 18 |
| 1.2.2 Физические основы ПС | 22 |
| 1.2.3 Позитроний и порометрия | 23 |
| 1.3 Позитронная спектроскопия УНТ | 33 |
| ГЛАВА 2. Методы аннигиляции позитронов | 39 |
| 2.1. Инсточник позитронов | 39 |
| 2.2. Метод анализа временного распределения аннигиляции позитронов (ВРАП) | 39 |
| 2.3. Метод доплеровского уширения аннигиляционных линий (ДУАЛ) | 51 |
| ГЛАВА 3. Анализ временного распределения аннигиляции позитронов в УНТ в зависимости от давления аргона и механического нагружения | 56 |
| 3.1 Анализ временного распределения аннигиляции позитронов в УНТ в зависимости от давления аргона | 59 |
| 3.2 Анализ временного распределения аннигиляции позитронов в УНТ в зависимости от механического нагружения | 61 |
| ГЛАВА 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 63 |
| 4.1 Организация и планирование работ | 63 |
| 4.1.1 Продолжительность этапов работ | 64 |
| 4.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта | 70 |
| 4.2.1 Затраты на материалы | 70 |
| 4.2.2 Затраты на электроэнергию | 71 |
| 4.2.3 Затраты на амортизацию оборудования | 73 |
| 4.2.4 Расчет заработной платы | 74 |
| 4.2.5 Затраты на социальный налог | 75 |
| 4.2.6 Прочие затраты | 75 |
| 4.2.8 Формирование бюджета научно-исследовательского проекта | 76 |
| 4.2.9 Оценка экономической эффективности проекта | 76 |
| СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ | 77 |
| 5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности | 77 |

| | |
|---|----|
| 5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства. | 77 |
| 5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя. | 78 |
| 5.2. Производственная безопасность. | 79 |
| 5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования..... | 79 |
| 5.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований. | 81 |
| 5.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов. | 83 |
| 5.3 Экологическая безопасность. | 85 |
| 5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду..... | 85 |
| 5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях..... | 86 |
| 5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований... 86 | |
| 5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований. | 86 |
| 5.4.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС. | 87 |
| Заключение..... | 91 |
| Список использованных источников..... | 92 |

Введение

Метод электрон–позитронной аннигиляции – эффективный и чувствительный метод неразрушающего контроля для изучения поверхностей материалов и дефектов. Спектроскопия временного распределения аннигиляции позитронов (ВРАП) является одним из методов ЭПА. ВРАП может использоваться для измерения относительной концентрации различных компонентов в образце. Этот метод имеет следующие преимущества: короткий экспериментальный период, отсутствие повреждений материалов и широкий диапазон измерений. При исследовании углеродных нанотрубок этот метод может относительно точно измерить концентрацию различных дефектов, не разрушая материал.

Цель работы – анализ закономерностей временного распределения аннигиляции позитронов в одностенных углеродных нанотрубках в зависимости от механического давления и давления аргона.

Для достижения поставленной цели были определены **следующие задачи**:

- подготовка образцов;
- настройка спектрометра временного распределения аннигиляции позитронов;
- измерение временного распределения аннигиляции позитронов в одностенных углеродных нанотрубках в зависимости от давления при механическом нагружении;
- измерение временного распределения аннигиляции позитронов в одностенных углеродных нанотрубках в зависимости от давления аргона;
- анализ временных компонент, связанных с центрами захвата позитронов;

ГЛАВА 1. Литературный обзор

1.1 Структура и свойства углеродных нанотрубок

1.1.1 Структура УНТ

Углеродная нанотрубка — это аллотропная модификация углерода, идеальная углеродная нанотрубка является полый цилиндрической структурой диаметром от десятых до нескольких десятков нанометров и длиной от одного микрометра до нескольких сантиметров.

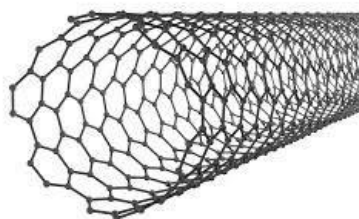


Рис. 1. Углеродная нанотрубка (УНТ).

По количеству слоёв нанотрубки делятся на одностенную и многостенную. Присущее расстояние между соседними графитовыми слоями, близкое к величине 0,34 нм.

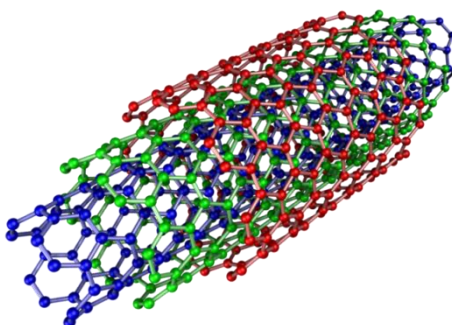


Рис. 2. Многостенная УНТ.

Структура УНТ, это лист графена, представляющий собой сетку из правильных шестиугольников, в вершине которого расположены атомы углерода.

Любая одностенная УНТ может рассматриваться как свернутая графеновая плоскость, поэтому структура УНТ может выражаться на этой плоскости. Обычно используются пары числа (n, m) , которые называются индексами хиральности, чтобы определить их структуру.

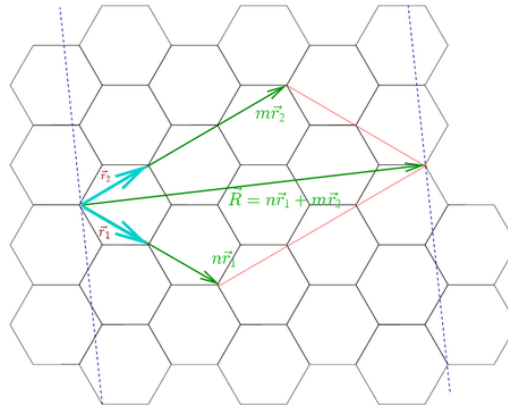


Рис. 3. Индексы хиральности УНТ.

Пары числа (n, m) определяют диаметры УНТ по форме:

$$D = \frac{\sqrt{3}d_0}{\pi} \sqrt{m^2 + n^2 + 2mn} \quad (1)$$

Где $d_0 = 0,142$ нм — расстояние между соседними атомами углерода в графитовой плоскости.

На основе индексов хиральности одностенные нанотрубки делятся на 3 типа:

$n = m$ — «кресло» или «зубчатые» (armchair)

$n = 0$ — «зигзагообразные» (zigzag)

$n \neq m$ — хиральные

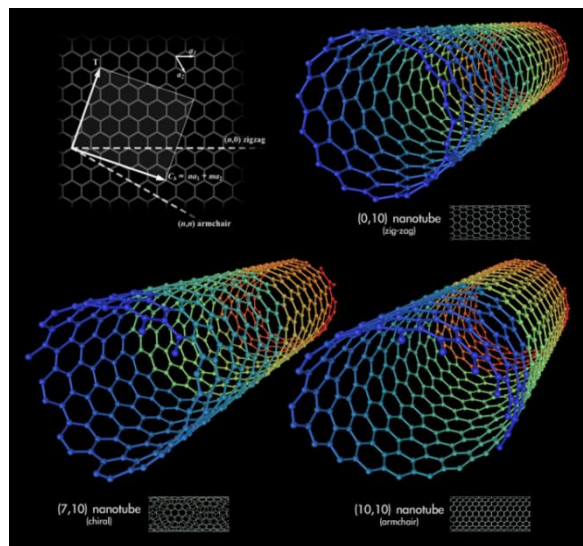


Рис. 4. Разные типы УНТ.

По типу торцов углеродные нанотрубки бывают открытыми и закрытыми.

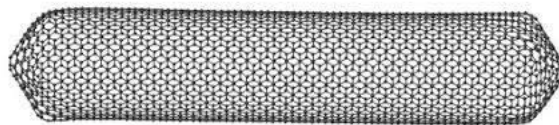


Рис. 5. Закрытая УНТ.

Дефект УНТ

Типы дефектов УНТ бывают разнообразными. Сначала определяем дефекты на графитовых слоях, например, четырехугольники или пятиугольники вместо правильных шестиугольников или недостатки атома углерода.

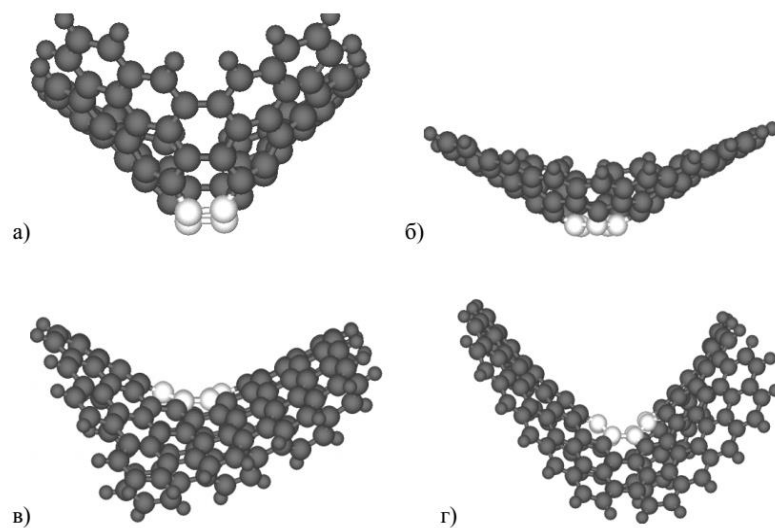


Рис. 6. Фрагменты графитового слоя, содержащие простые топологические дефекты. а)4 – четырехугольник б)5 – пятиугольник
в)7 – семиугольник г)8 – восьмиугольник [3]

Потом изучаем их влияние на структуры УНТ.

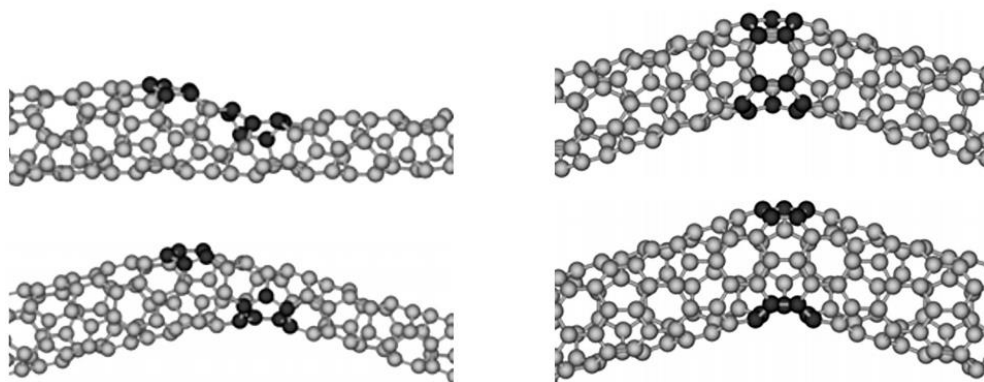


Рис. 7. Дефект 5–7 в УНТ [4]

Вследствие дефектов направления осевых линий углеродных цилиндров изменяются.

1.1.2 Свойства УНТ

Электронные свойства

Для расчета и планирования электропроводности используют формулу соотношений параметров: $(n-m)/3$.

Целое число, получаемое при расчёте, свидетельствует о проводимости нанотрубки металлического типа, а дробное – полупроводниковой. Например, металлическими являются все трубки типа «кресло». Углеродные нанотрубки металлического типа проводят электрический ток при абсолютном нуле. Нанотубулены полупроводникового типа обладают нулевой проводимостью при абсолютном нуле, которая возрастает с повышением температуры.

1.2 Позитронная спектроскопия (ПС)

1.2.1 Позитрон и аннигиляция

Позитрон(e^+) – античастица электрона. Относится к антивеществу, имеет электрический заряд +1, спин 1/2, лептонный заряд –1 и массу, равную массе электрона.

Таблица 1. Физические величины позитрона и электрона.

| | позитрон | электрон |
|-------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Масса | $9,11 \times 10^{-28} \text{ Г}$ | $9,11 \times 10^{-28} \text{ Г}$ |
| Количество заряда | +1 | –1 |
| Спин | 1/2 | 1/2 |

Аннигиляция

Аннигиляция – это процесс, который происходит когда позитрон и электрон столкнутся и их масса превращается в энергию, которая испускается в виде гамма–луча.

$$e^+ + e^- \rightarrow \gamma$$

Величина энергия может определяться по эквивалентности массы и энергии.

$$E = 2m_e c^2 = 1.02 \text{ MeV}$$

При аннигиляциях обычно испускаются 2 γ -фотона. Иногда испускается 1 γ -фотон или 3 γ -фотона. Но при аннигиляции позитрона их вероятность возникновения значительно меньше, чем 2 γ -фотона. Поэтому обычно используется 2 γ -аннигиляции. Энергия γ -фотона при 2 γ -аннигиляции равна 0,511 МэВ.[5]

Термализация

Позитроны, которые испускаются из изотопа титана-44 в результате радиоактивного распада, имеют высокую кинетическую энергию (100кэВ~1500кэВ). Они входят в образец, сталкиваются с электронами, ионами и атомами и быстро теряют энергию до уровня тепловой энергии (около 0,025 эВ) за несколько пикосекунд ($1\text{пс} = 10^{-12} \text{ с}$). Это процесс называется термализацией. В связи с тем, что позитроны потеряют большую часть энергии при этом процессе, глубина проникновения позитронов устанавливается на этапе термализации ($20 \mu\text{М} \sim 300 \mu\text{М}$). Толщина образца должна больше, чем пробег позитронов, чтобы аннигиляция происходила в образце и испускалось γ -излучение с информацией структуре образца в конце пробега.

Эмпирическая формула пробега позитронов:

$$\frac{1}{R} = \frac{2.8\rho Z^{0.1}}{E^{1.19}} \quad (2)$$

Где R– дистанция.

Z– Атомный номер.

E– Начальная энергия позитрона.

ρ –Плотность образца.

Диффузия и аннигиляция

После термализации позитроны входят в образец и рассеиваются, это процесс называется диффузией. Диффузия продолжается недолго (100пс~10000пс). Строго говоря, именно время этого процесса называется временем жизни позитронов, а время термализации не включается в него, но иногда трудно разобраться в том, когда происходит диффузия. После диффузии происходит аннигиляция позитронов.

Тип аннигиляции

Существуют три типа аннигиляции

Свободная – аннигиляция происходит, когда позитрон находится в свободном состоянии.

Связанная – аннигиляция происходит, когда позитрон находится в связанном состоянии.

Позитроний – аннигиляция происходит, когда позитрон и электрон уже образовали позитроний. Существует два типа позитрония – O-Ps и P-Ps, которые будут рассмотрены далее.

В образце существуют поры, которые могут легко захватывать позитроны. Если позитроны локализовались в поре, вокруг которых мало электронов, вероятность аннигиляции будет уменьшаться, а время жизни будет возрастать, поэтому время жизни позитронов второго и третьего типа аннигиляции дольше, чем первого.

Модель аннигиляции двух состояний

Допустим, существуют только два состояния – свободное и связанное. После термализации все позитроны являются свободными, потом они могут измениться на связанные или остановиться на свободные, затем происходят аннигиляции. Для этого можем создать систему уравнений.

$$\frac{dn_f}{dt} = -\lambda_f n_f(t) - K_1 n_f(t) + K_2 n_d(t) \quad (3)$$

$$\frac{dn_d}{dt} = -\lambda_d n_d(t) + K_1 n_f(t) - K_2 n_d(t) \quad (4)$$

n_f, n_d – Количество свободных и связанных позитронов.

λ_f, λ_d – Вероятность аннигиляции свободных и связанных позитронов. Их обратные числа τ_f, τ_d являются временами жизни позитронов.

K_1, K_2 – Вероятность изменения в другие состояния. Обычно, K_2 значительно мало, может считать его нулём.

t – Время.

Начальные условия – $t = 0, n_f = n_0, n_d = 0$.

Потом получим

$$n_f(t) = n_0 \exp[-(\lambda_f + K)t] \quad (5)$$

$$n_d(t) = \frac{n_0 K}{\lambda_f + K - \lambda_d} \{ \exp(-\lambda_d t) - \exp[-(\lambda_f + K)t] \} \quad (6)$$

$$S(t) = \lambda_f n_f + \lambda_d n_d = I_1 \exp(-\lambda_1 t) + I_2 \exp(-\lambda_2 t) \quad (7)$$

Где $S(t)$ – количество аннигиляции позитронов.

I – интенсивность компонентов.

S может считаться суммой независимых временных компонент позитронов.

С помощью программы, например, “lifetime10”, можем получить составы временных спектров. Это процесс называется декомпозицией спектров [6]

1.2.2 Физические основы ПС

Время жизни позитронов

Позитроны генерируются радиоизотопным источником, одновременно с испусканием позитрона испускается γ -кванта (для источника титан-44 энергия данного кванта является 1,157 МэВ). Когда происходит аннигиляции, испускаются γ -кванты с энергией 0,511 МэВ. Измеряя время между этими двумя событиями, можно определить время жизни позитрона.

Время жизни позитронов связано со структурой образца, а именно с дефектами, например дислокации и поры. Концентрацию дефектов или размер пор можно определить путем измерения времени жизни позитрона.

Угловая корреляционная спектроскопия

Сущность этого метода заключается в анализе углов разлета θ фотонов от 180° при 2γ -аннигиляции от импульсов позитрон-электронных пар.

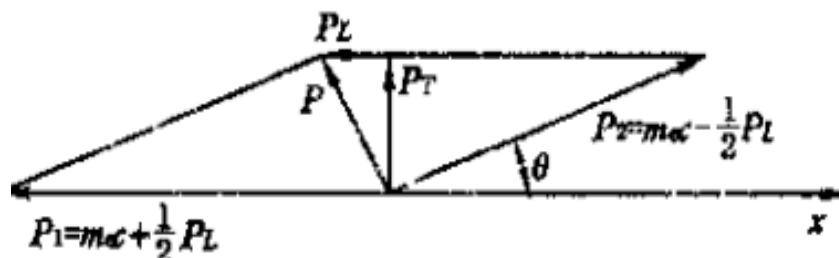


Рис 8. Импульсы 2γ аннигиляции

можем определить

$$P_T = m_e c \theta \quad (8)$$

$$P_1 = m_e c \theta + \frac{1}{2} P_L \quad (9)$$

$$P_2 = m_e c \theta - \frac{1}{2} P_L \quad (10)$$

Здесь P – импульса электрона

m_e – масса электрона

θ – угол между направлениями излучений фотонов

P_L – горизонтальная составляющая импульса электрона

P_T – Вертикальная составляющая импульса электрона

Допплеровская позитронная спектроскопия

При этом методе измеряется энергия γ -кванта. В связи с наличием ненулевого суммарного импульса пары e^+e^- , энергия фотонов не равна 511 кэВ, а появляется добавка по энергии. Это добавка называется доплеровским сдвигом энергии.

$$E_1 = P_1 c \quad (11)$$

$$E_2 = P_2 c \quad (12)$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} P_T c \quad (13)$$

Здесь $E_{1,2}$ – энергии фотонов

ΔE – разница энергии фотонов

Кинетическая энергия пары $e^+ - e^-$ около 0,5 эВ. Величина ΔE является 0,5~1 кэВ. Это отношение также называется доплеровским уширением.

Оба метода используются для измерения импульсного распределения электронов в материале. На основании информации о распределении импульса электронов можно сделать вывод о структуре образца.

1.2.3 Позитроний и порометрия

Порометрия

Порометрия – определение характеристик пористой структуры материалов, в частности, среднего размера пор и распределения пор по размерам. Для углеродных материалов размер пор определяет способность сорбции газа.

Кроме этого, метод определения порометрии часто используют для контроля дефектов материалов.

Нанопоры по диаметру деляются на 3 типа – микропор (диаметр пор до 2 нм), мезопор (2-50 нм) и макропор (более 50 нм).

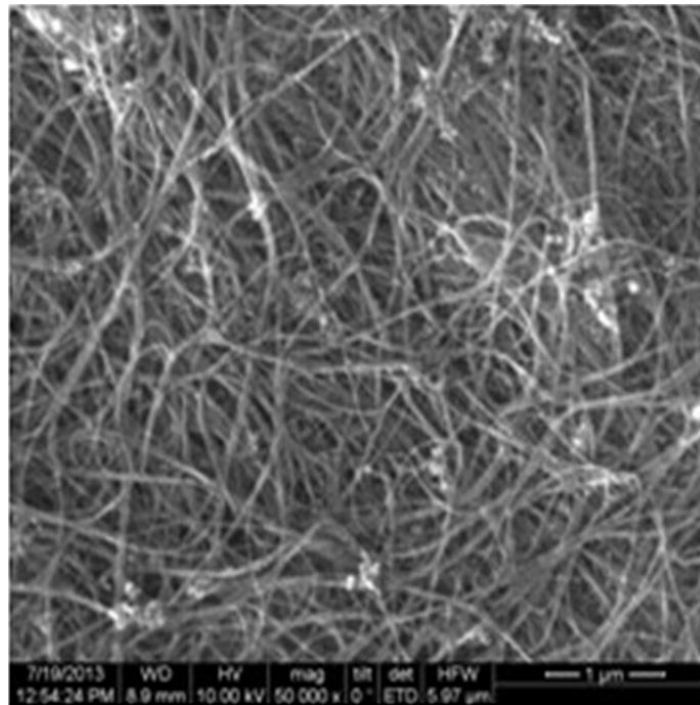


Рис. 9. Углеродные нанотрубки радиусом 5 нм

Позитроний

Позитроний — связанная квантовомеханическая система, состоящая из электрона и позитрона.

В зависимости от взаимного направления спинов электрона и позитрона различают ортопозитроний (спины сонаправлены, суммарный спин $S = 1$) и парапозитроний (спины противоположно направлены, суммарный спин $S = 0$).

Ортопозитроний пишут, как o-Ps (ortho-positronium). Парапозитроний пишут, как p-Ps (para-positronium).

Таблица 2. Сравнение позитрония с атомом водорода.

| Название | Символ | Состав | Приведённая | Расстояние | Энергия |
|----------|--------|--------|-------------|------------|---------|
|----------|--------|--------|-------------|------------|---------|

| | | | масса (мэВ) | между ними(м) | ионизации(эВ) |
|------------------|----|----------|-------------|-------------------------|---------------|
| Атом водорода | H | p^+e^- | 932.8 | 0.529×10^{-10} | 13.06 |
| Позитроний | Ps | e^+e^- | 0.511 | 1.05×10^{-10} | 6.08 |

Аннигиляция позитрония

При аннигиляции чётность сохранится, поэтому количество производных γ -фотонов аннигиляции o-Ps является нечётным, а количество производных γ -фотонов аннигиляции p-Ps является чётным.

Вероятность возникновения 2γ -фотона или 3γ -фотона аннигиляции позитрония значительно больше, чем других. Обычно рассматриваем только эти типы.

Таблица 3. Сравнение p-Ps с o-Ps.

| | p-Ps | o-Ps |
|--|----------------------------------|----------------------------------|
| Вероятность аннигиляции γ (в вакууме) | $8 \times 10^9 \text{ c}^{-1}$ | $7 \times 10^6 \text{ c}^{-1}$ |
| Время жизни позитрония τ (в вакууме) | 0.125нс | 140нс |
| Спин-состояние | $\uparrow\downarrow$ | $\uparrow\uparrow$ |
| Квантовое число | J=0, m=0 | J=0, m=0, ± 1 |
| Доля образования | 25% | 75% |
| Тип аннигиляции | 2γ -фотона аннигиляция | 3γ -фотона аннигиляция |

При аннигиляциях позитронов со свободными электронами соотношение между 2γ -фотонами аннигиляции и 3γ -фотона является 372:1. При ps-аннигиляции отношение количеств между ними является 1:3.

В высокомолекулярном или пористом материале, после образования позитрония, существует три канала аннигиляции (кроме само-аннигиляции) [14].

- 1) Pick-off аннигиляция
- 2) Химическая аннигиляция
- 3) Аннигиляция перехода спина

Pick-off аннигиляция происходит, когда o-Ps сталкивается с атомами и забирает один электрон, имеющего противоположный спин позитронию, и возникает аннигиляция, которая похожа на p-Ps-аннигиляцию. Время жизни позитрона p-Ps-аннигиляции (0.125 нс) значительно меньше, чем o-Ps-аннигиляции (140нс). В образце интервал времени жизни позитрона 2γ -фотона аннигиляции o-Ps способом pick-off аннигиляцией является 0.6-6 нс [15]. Кроме этого, вероятность аннигиляции и время жизни позитрона при pick-off аннигиляции ещё обусловлены частотой столкновения позитрония и окружающей электронной средой. Частота столкновения зависит от диаметра пор в материале. Чем меньше диаметр отверстия образца, тем чаще позитроний сталкивается, соответственно, вероятность аннигиляции выше, а время жизни позитрона короче.

Химическая аннигиляция происходит, когда в отверстии материала существует газ или жидкость, с которым позитроний взаимодействует и возникает аннигиляцию.

Аннигиляция перехода спина происходит, когда существует дополнительное поле или парамагнетизм, который может изменить o-Ps, магнитное квантовое число которого равно нулю, на p-Ps.

Энергетический спектр 3γ -аннигиляции непрерывный. Интервал спектра 0-511эВ. Эта характеристика может использоваться для определения существования позитрония.

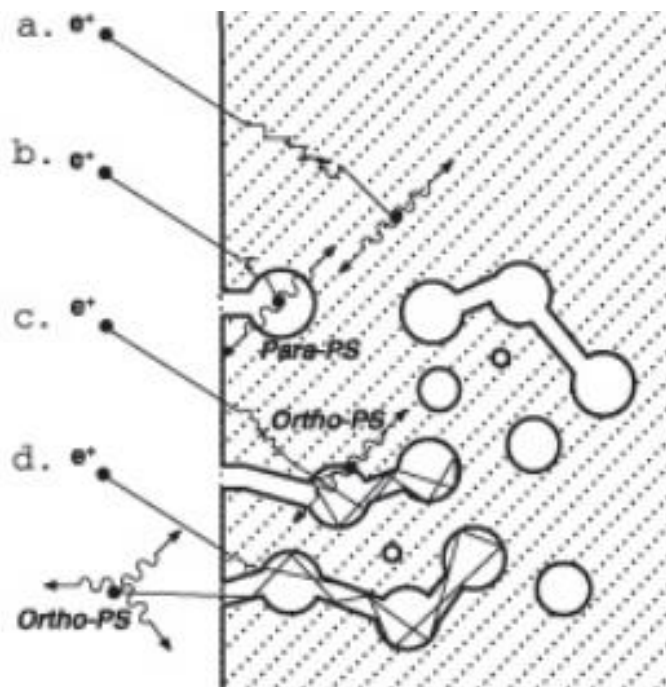


Рис. 10. а) аннигиляция позитрона, б) аннигиляция паропозитрония, в) аннигиляция ортопозитрония, д) pick-off аннигиляция ортопозитрония.

Метод Тао-Элдрупа

Тао [16] и Элдруп [17] рассматривали позитроний как точечную частицу в бесструктурном непрерывном спектре. Взаимодействие между позитронием и образцом было аппроксимировано бесконечно глубокой сферически-симметричной потенциальной ямой радиуса R_∞ . Для того, чтобы аннигиляция могла произойти, допустим существование проникновения электронов внутри сферы и введем пограничный электронный слой в сфере толщины $\delta = R_\infty - R$. Здесь R – радиус свободного объема. $\psi(r)$ является волновой функцией позитрония.

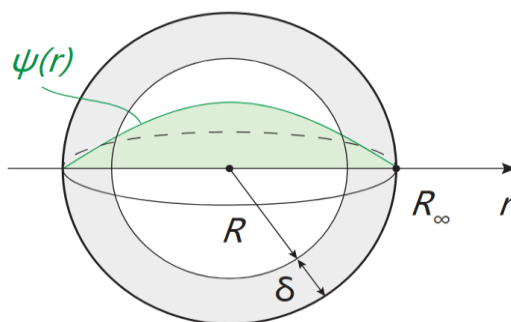


Рис. 11. Модель пузыря позитрония Тао-Элдруп

Волновая функция частицы, находящейся в сферически симметричной бесконечной потенциальной яме радиуса R .

$$\psi(r) = \frac{\sin(n\pi r / R)}{\sqrt{2\pi r R}} \quad (14)$$

Допустим позитрония находятся в основном состоянии $n=1$ и сменим R на R_∞ . Получим

$$\begin{aligned} \psi(0 < r < R_\infty) &= \frac{\sin(n\pi r / R_\infty)}{\sqrt{2\pi r R_\infty}} \\ \psi(r > R_\infty) &= 0 \end{aligned} \quad (15)$$

Вероятность аннигиляции λ пропорциональна интегралу волновой функции позитрония и толщины электронного слоя внутри пузырька. Кроме того, предполагаем, что плотность электронов в пограничном слое такая же, как и в целом материале. Тогда вероятность аннигиляции λ внутри слоя будет также пропорциональна вероятности аннигиляции позитронов в материале $\lambda_+ \approx 2\text{нс}^{-1}$. Получим

$$\begin{aligned} \lambda &= \lambda_+ \int_R^{R_\infty} |\psi(r)|^2 4\pi r^2 dr \\ \lambda &= 2 \left[1 - \frac{R}{R+\delta} + \frac{1}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi R}{R+\delta}\right) \right] \end{aligned} \quad (16)$$

Здесь $\delta = 1.66 \times 10^{-10} \text{ м}$.

Наконец, получим эмпирическую формулу вероятности pick-off аннигиляции, которая зависит от радиуса поры.

Преимущество этого метода заключается в том, что с помощью метода Тао-Элдруп можем рассматривать поры при очень малом масштабе (меньше чем 1 нм), что для других методов не возможно.

Пакет MELT

MELT – программа для анализа спектров времени жизни позитронов. Программа полезна, если спектры времени жизни не дискретны, а непрерывны. Что типично для спектроскопии времени жизни позитронов в полимерах и пористых материалах [18].

Теоретическая основа

Для непрерывного распределения времени жизни позитрона реальный спектр может записать как интеграл –

$$Y(t) = R(t)[N_t \int_0^\infty f(\tau) e^{-\frac{t}{\tau}} d\tau + B] \quad (17)$$

Здесь $Y(t)$ – реальный спектр

$R(t)$ – функция разрешения

N – Общее число

$f(\tau)$ – Функция времени жизни позитрона

τ – время жизни позитрона

B – Фоновая функция

По теореме Байеса определить $f(\tau)$ -

$$P(f|D) = \frac{P(f)P(D|f)}{P(D)} \quad (18)$$

Если статистический подсчет в эксперименте удовлетворяет гауссовскому распределению, можем получить формулы

$$P(D|f) \propto \exp\left(-\frac{1}{2} \chi^2\right)$$
$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(F_i - D_i)^2}{\sigma_i^2}, \sigma_i = \sqrt{D_i} \quad (19)$$

$$P(f) \propto \exp(\alpha S(f, m))$$

$$S = \sum_{i=1}^N f_i - m_i - f_i \log \frac{f_i}{m_i} \quad (20)$$

Здесь S – Функции энтропии.

m – Начальное решение.

α – Коэффициент.

$$P(f|D) \propto \exp(\alpha S - \frac{1}{2} \chi^2) \quad (21)$$

Чтобы $P(f|D)$ наибольшая, этой функции нужно достигать максимум.

$$\Phi(\alpha, f) = \alpha S - \frac{1}{2} \chi^2 \quad (22)$$

Shukla [18] создал программу, основную на этом алгоритме, для получения спектров времени жизни позитронов.

Входные данные и параметры для MELT

Чтобы рассчитать жизнь позитрона, информация, которая должна быть введена, включает:

Namedat—имя экспериментальных данных

Stopdat — конечный канал для расчета жизни позитронна. Необходимо включить экспоненциально убывающую часть спектра

Startbg—конечный канал для расчета фона

Stopbg—начальный канал для расчета фона

Left of max—Чтобы рассчитать значение времени жизни позитронов, из этого канала рассчитывается время жизни позитронов. (как правило, в максимуме спектра)

Left of max t_0 —Чтобы рассчитать начальное время T_0 установить канал, который должен быть чувствительным к T_0

Enditer—Максимальное количество итераций

FWHM (full width at half maximum) — полная ширина на половине высоты максимума каждой компоненты функции Гаусса

FWHMmint—интенсивность полной ширины на половине максимума. Их сумма равна единице

T_0 shift—первая часть содержит точку времени в ps / psperchannel, которая определяет начальную точку времени T_0 , а гауссова компонента сосредоточена вокруг этой точки. Это значение должно быть от нуля до единицы. Вторая часть дает зависимость между изменением T_0 и первым значением. Выбор полной ширины при половинном максимуме и T_0 shift оказывает большое влияние на точность результатов расчета.

Entwghtstart (entropy weight for initial convergence) — начальный энтропийный весовой коэффициент

Entwghtstop (lower limit for entropy weight) — конечный энтропийный весовой коэффициент

Преимущество этого метода состоит в том, что нет необходимости указывать количество компонентов жизни или стандартного спектра и может рассчитать спектр, содержащий компоненты с длинным временем жизни, но T_0 (нулевой момент) спектра и полную ширину на половине максимума каждой компоненты трудно подтвердить. Выбор T_0 и полной ширины на половине максимума повлияет на точность вычисления короткоживущих компонент[19].

1.3 Позитронная спектроскопия УНТ

По выводу эксперимента, который провел Zhang [9], состав временного спектров одностенных УНТ единственный. Диаметр использованных УНТ 1-2 нм, среднее время жизни позитронов составляет 366 пс.

Путём анализа структуры УНТ, узнаем то, что существуют два возможных места аннигиляции позитронов

- 1) внутри трубок.
- 2) поры между трубами и внешняя трубка.

Давление может влиять на внешнее положение.

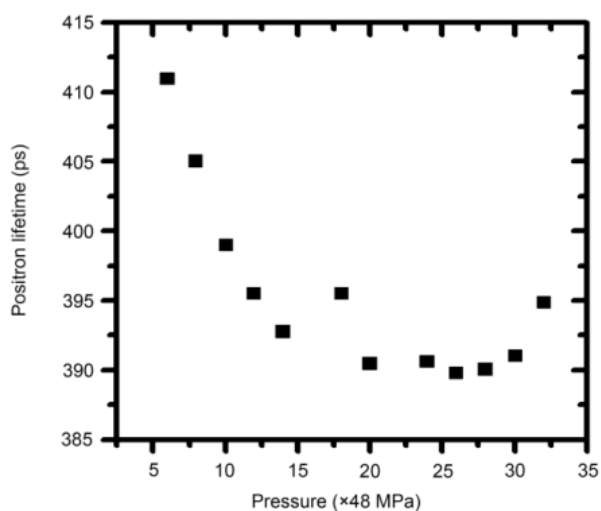


Рис. 12. Зависимость времени жизни позитронов от давления [10]

По мере увлечения давления время жизни позитронов сокращается сначала. Когда давление достаточно высокое, время жизни не меняется, потому что чем выше давление, тем меньше пор, представляющих места для захвата позитрон и аннигиляции.

Кроме того, время жизни ещё обусловлено диаметром УНТ.

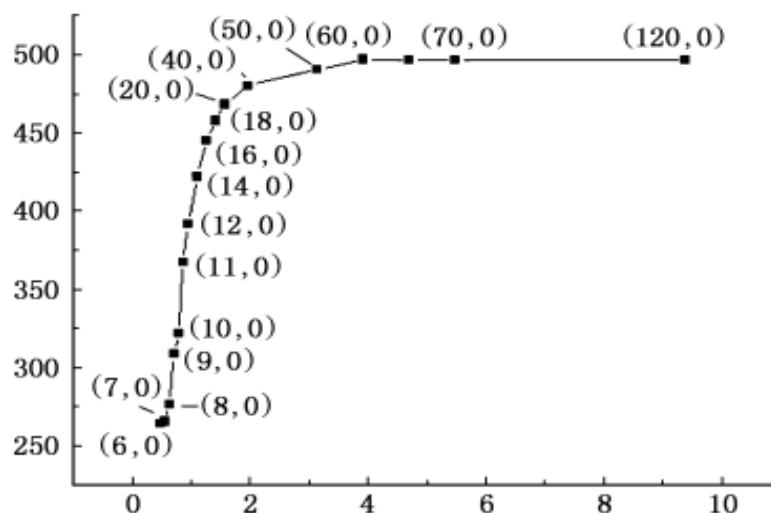


Рис. 13. Зависимость времени жизни позитронов от диаметра

При увеличении диаметра УНТ в пределах 0,5 – 1,5 нм, время жизни позитронов быстро увеличивается, а потом почти не меняется. По мнению автора, когда величина диаметр мелький (0,47 – 1,95 нм) [11] аннигиляция проходит во внешней поверхности УНТ, и наоборот, когда диаметр большой, аннигиляции проходят внутри УНТ.

Вследствие того, что время жизни позитронов обладает высокой чувствительностью к диаметрам УНТ в пределах 0,47 – 1,95 нм, можем определить диаметр УНТ методом спектроскопии времени жизни позитронов.

Допплеровская позитронная спектроскопия УНТ

Вследствие того, что доплеровской сдвиг энергии зависит от продольных импульсов электронов. Можем определить распределение плотности импульсов электронов УНТ и процент аннигиляции электронов разных орбит.

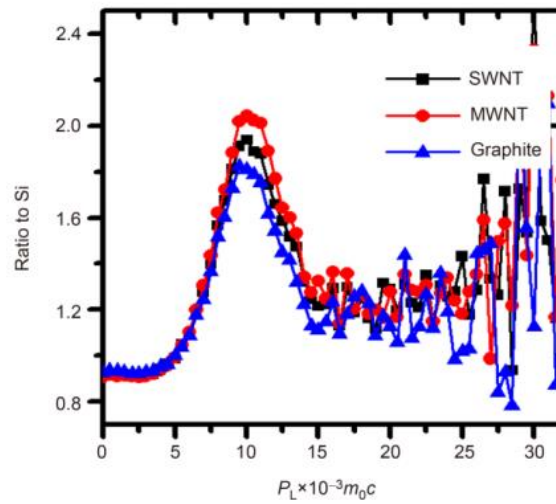


Рис. 14. Относительный спектр УНТ и графит к кремнию [12]

Автор считался, что пик ($P_L = 10^{-2} m_0 c$) обозначит аннигиляцию позитронов с 2p-электронами.

Для теоретического расчета распределения плотности позитронов существуют два метода. Оба основны на методе частичного приближения функции плотности (local-density approximation, LDA).

- 1) Метод модели наложения нейтральных атомов.
- 2) Метод ограниченного дифференциала.

Сначала, автор определил потенциальную энергию, определенную позитроном, методом LDA –

$$V_+(r) = \phi(r) + V_{corr}(n_-(r)) \quad (23)$$

Где $\phi(r)$ – кулоновская потенциальная энергия.

V_{corr} – корреляционная энергия между электронами и позитронами.

$n_-(r)$ – плотность электрона.

Кулоновская потенциальная энергия равна сумме потенциальной энергии
каждых атомов –

$$\phi(r) = \sum \phi_i(r) \quad (24)$$

Коррекционная энергия зависит от плотности электрона. При высокой
плотности электрона $r_s \leq 0.302$ ($\frac{4}{3}\pi r_s^3 = \frac{1}{n_-}$).

$$V_{corr} = -1.56 / \sqrt{r_s} + (0.051 \ln r_s - 0.081) \ln r_s + 1.14 \quad (25)$$

Когда $0.302 \leq r_s \leq 0.56$,

$$V_{corr} = -0.923 - 0.054 / r_s^2 \quad (26)$$

При низкой плотности электрона $r_s \geq 8$,

$$V_{corr} = -0.524 - 179856 n_-^2 + 186.42 n_- \quad (27)$$

Затем, определил вероятность аннигиляции позитрона -

$$\begin{aligned} \lambda &= \lambda_v + \lambda_c \\ &= \pi r_0^2 c \int dr n_+(r) n_-(r) \gamma(n_-) \\ &= \int dr n_+(r) \Gamma(n_-(r)) \end{aligned} \quad (28)$$

Где $\lambda, \lambda_v, \lambda_c$ – вероятность аннигиляции позитрона, вероятность
аннигиляции позитрона с валентными электронами и со сердцевинными
электронами.

$\gamma(n_-)$ – Фактор, созданный для описания увеличения плотности электрона,
которого приносит притяжение между позитронами и электронами.

$\Gamma(n_-(r))$ – Вероятность аннигиляции позитрона в равномерном свободном
электронном газе (Ферми-газ).

r_0 – Радиус электрона.

Для вероятности аннигиляции с сердцевинными электронами $\gamma = 1.5$.

Для вероятности аннигиляции позитрона с валентными электронами.

$$\Gamma(n) = \pi r_0^2 c n (1 + 1.23 r_s + 0.83 r_s^{1.5} - 1.26 r_s^2 + 0.33 r_s^{2.5} + 0.17 r_s^3) \quad (29)$$

Автор получил такие рисунки после вычисления [13].

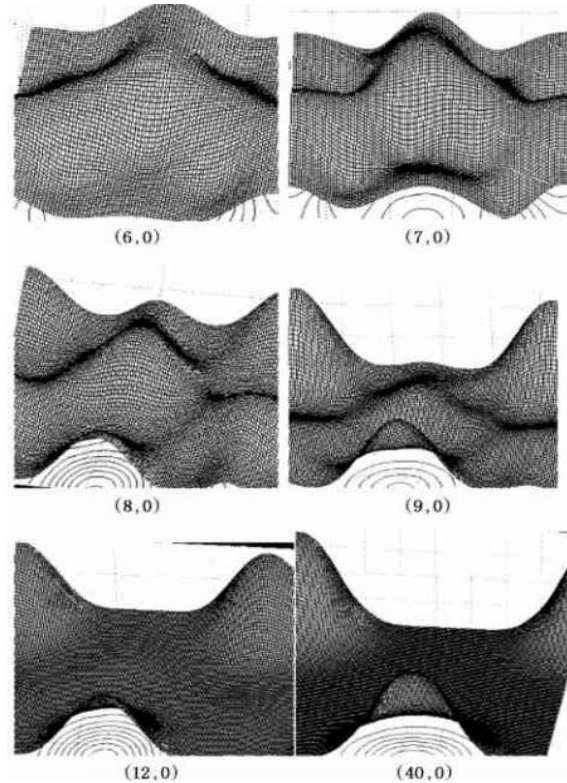


Рис. 15. Распределение плотности позитрона в одностенной УНТ различного диаметра

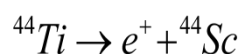
Видно, на сечении трубки (6,0), позитроны концентрируются на порах между трубками. При увеличении диаметра трубки УНТ позитроны передвинулись на центр трубки. По мнению автора, перемена плотности позитронов на сечении трубки вызвана изменением распределения потенциальной энергии позитрона. Когда диаметр трубки УНТ маленький (0.5 ~ 0.7 нм), потенциальная энергии центра трубок больше, чем на поверхности трубки, т.к. вероятность появления позитронов на поверхности трубки больше, то есть, находится в порах, образованных нагроможденными одностенными

нанотрубками. Когда диаметр трубки УНТ большой ($>2\text{нм}$), то наоборот, вероятность нахождения позитронов внутри трубок больше.

1.2 ГЛАВА 2. Методы аннигиляции позитронов

2.1. Инсточник позитронов

Методов получения позитронов много. Например, методы конверсии электронов или метод радиоактивных источников. В лабораториях часто используют радиоактивные изотопы ^{44}Ti или ^{22}Na для получения позитронов. Ядро атома ^{44}Ti или ^{22}Na распадаются, и образуется позитрон. Поскольку их цены относительно невелика, а период полураспада весьма длинный, скорость образования позитронов умеренная.



2.2. Метод анализа временного распределения аннигиляции позитронов (ВРАП)

Система измерения

Существует несколько различных типов систем измерения спектров времени жизни. Их можно грубо разделить на систему быстро-медленного совпадения (рис. 16) и систему быстро-быстрого совпадения (рис. 17).

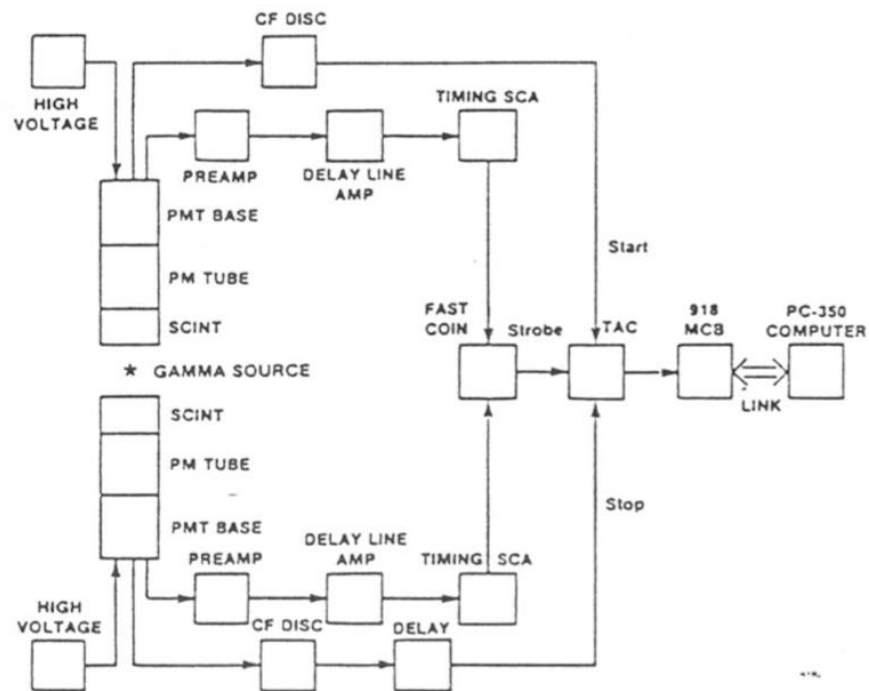


Рис. 16. Схема системы быстро-медленного совпадения

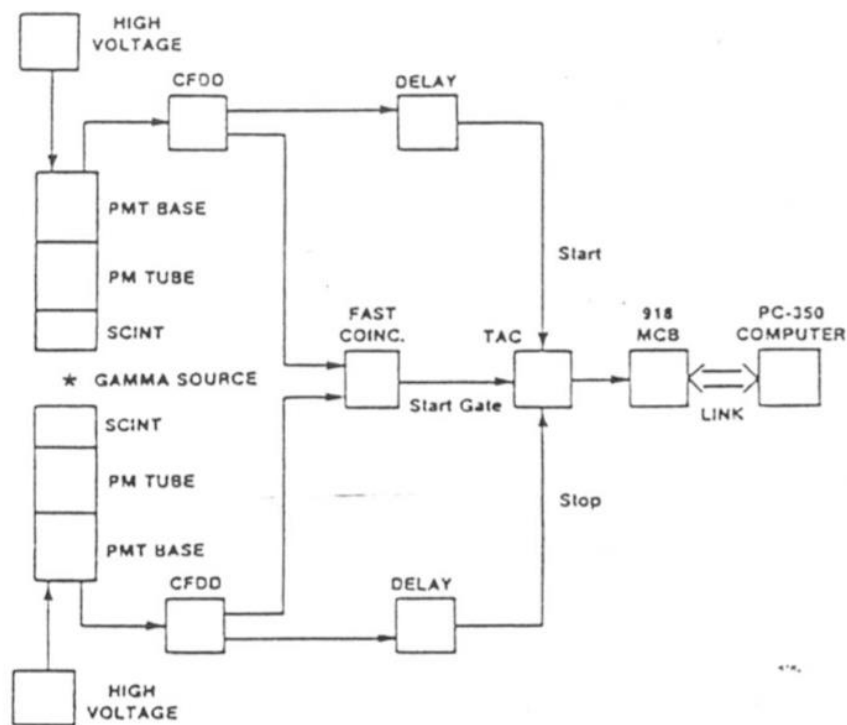


Рис. 17. Схема системы быстро-быстрого совпадения

Система быстро-медленного совпадения имеет низкую скорость счета. Из-за использования одноканального анализатора (SCA), который работает медленно. С развитием технологий разработан дискриминатор постоянной

составляющей (ДПС) и дифференциальный дискриминатор постоянной составляющей (ДДПС), который может быстро оценить энергию с высокой точностью. Вследствие этого появились системы быстро-быстрого совпадения.

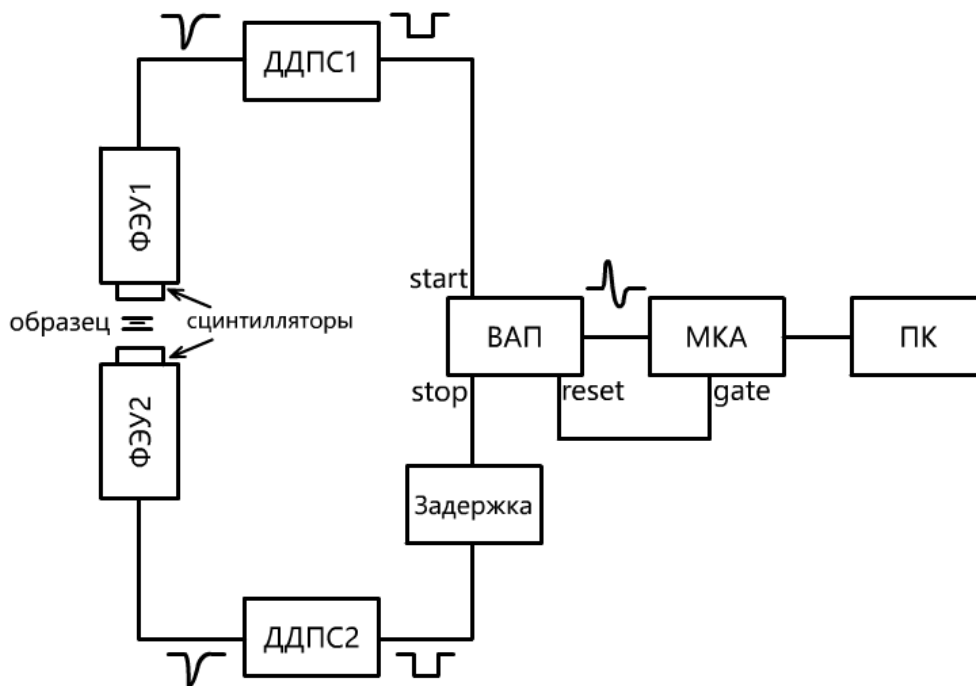


Рис. 18. Схема системы анализа ВРАП

Информация о системе

Испытуемый образец имеет структуру как сэндвич. В середине находится источник позитронов ^{44}Ti , зажатый двумя кусочками испытуемого материала. Кусочки достаточно толстые, чтобы все позитроны аннигилировали внутри образца.

Сцинтилляторы – вещества, обладающие способностью излучать свет при поглощении ионизирующего излучения. Сцинтилляторы конструктивно объединены с фотоэлектронным умножителем (ФЭУ) для регистрации γ -квантов. В нашей системе используется пластиковый сцинтиллятор, у которого низкое энергетическое разрешение.

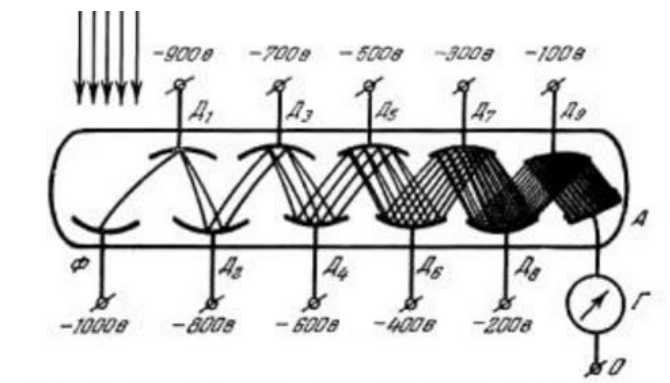


Рис. 19. фотоэлектронный умножитель

ФЭУ – прибор, в котором формируется поток электронов, излучаемый фотокатодом под действием оптического излучения. ФЭУ принимает слабый свет от сцинтиллятора, преобразует его в электрический сигнал. Усиливается в умножительной системе в результате вторичной электронной эмиссии.

Дискриминатор – прибор, который способен определить, находится ли амплитуда входного сигнала в определённом диапазоне. Он генерирует прямоугольный сигнал, только тогда, когда амплитуда сигнала находится в определенном диапазоне. В нашей системе используется дифференциальный дискриминатор постоянной составляющей (ДДПС), который имеет два порога – верхний и нижний. На некоторых этапах был использован простой дискриминатор постоянной составляющей (ДПС), у которого только один порог. Модель ДДПС – 583. Модель ДПС – 2126.

Время-амплитудный преобразователь (ВАП) – преобразователь, который принимает сигнал “старт” и “стоп”, измеряет разницу во времени между ними и генерирует импульс в качестве выходного сигнала с соответствующей амплитудой.

Многоканальный анализатор (МКА) – система с несколькими каналами подсчёта, каждый из них соответствует определённому диапазону энергии. Он принимает входной сигнал, оценивает его амплитуду и записывает его в

соответствующем канале. Наш МКА имеет 8192 канала. Он установлен на компьютере.

Задержка – прибор, который задерживает сигнал “стоп” и “старт” (не обязательно), чтобы временной интервал между сигналами “стоп” и “старт” находился в диапазоне, в котором количество каналов от времени линейно зависит.

Выбор напряжения ФЭУ

При измерении спектра времени жизни позитронов используются ФЭУ, напряжение питания которых обычно составляет 600-3000 В. Их представление очень различно при разных напряжениях. Когда напряжение слишком низкое, их разрешение энергии и скорость счета будут очень низкими. А когда напряжение слишком высокое, их отношение сигнал/шум будет очень низким, потому что шум сигнала будет большим. Поэтому нужно настроить их напряжение питания на оптимальное значение.

Поскольку конфигурации используемых нами двух детекторов немного отличаются друг от друга, два ФЭУ питаются отдельно и их регулировки тоже проводятся отдельно.

Существует несколько способов для определения оптимального напряжения питания ФЭУ. Мы использовали два метода – метод подсчёта [19] и метод энергетического спектра.

Метод подсчёта

Этот метод основан на том факте, что при не высоком напряжении шумовой сигнал, генерируемый электронами, будет возрастать экспоненциально по мере увеличения напряжения, а сигнал, генерируемый высокоэнергетическими частицами, не будет возрастать также резко.

Схема этого метода показана ниже (Рис. 0). В системе используется счётчик, который подсчитывает количество импульсов прямоугольной формы.

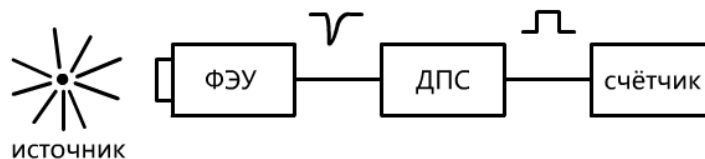


Рис. 20. Схема для метода подсчёта

Мы зафиксировали напряжение и расположение фотоумножителя. Затем запускали счётчик в течение 30 секунд, потом записывали его результаты. Напряжение изменялось с шагом 0,05 кВ в диапазоне 1-2,5 кВ. График в логарифмическом масштабе показан на Рис. 1.

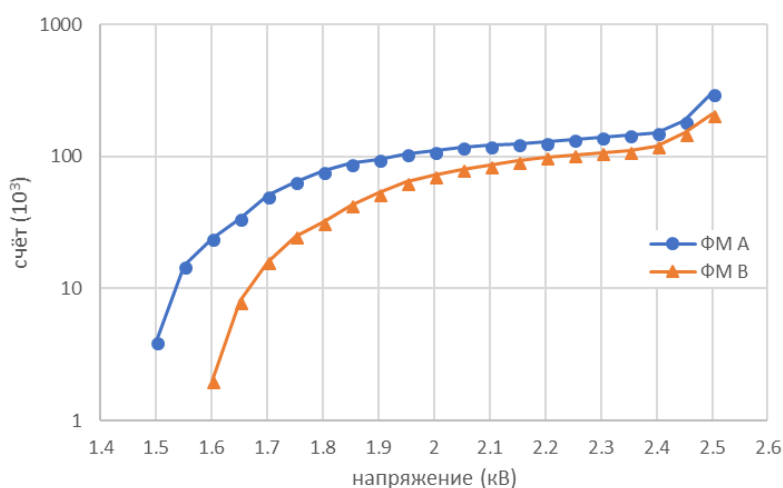


Рис. 21. Зависимость счёта от напряжения

Видно, что счёт увеличивается с увеличением напряжения. Когда напряжение маленькое, скорость увеличения небольшая. А когда напряжение больше, чем 2,4 кВ, скорость увеличения резко возрастает. Что обусловлено резким ростом шума.

Чтобы сделать сигнал настолько большим, насколько это возможно, а шум максимально низким, было выбрано напряжение 2,4 кВ для обоих ФЭУ. Но данное значение является только опорным, не обязательно оптимальным. Далее необходимо оценить энергетическое разрешение ФЭУ.

Калибровка ВАП

Для нахождения диапазона с однородными относительно времени каналами создана схема калибровки ВАП (Рис.3) [20]. Сигнал из ДПС направлена прямо в порт старт ВАП. Сигнал из ДПС и направлен через задержку в порт стоп ВАП. Соединены выход ВАП с входом МКА, порт сброс(reset) ВАП с портом ворота(gate) МКА.

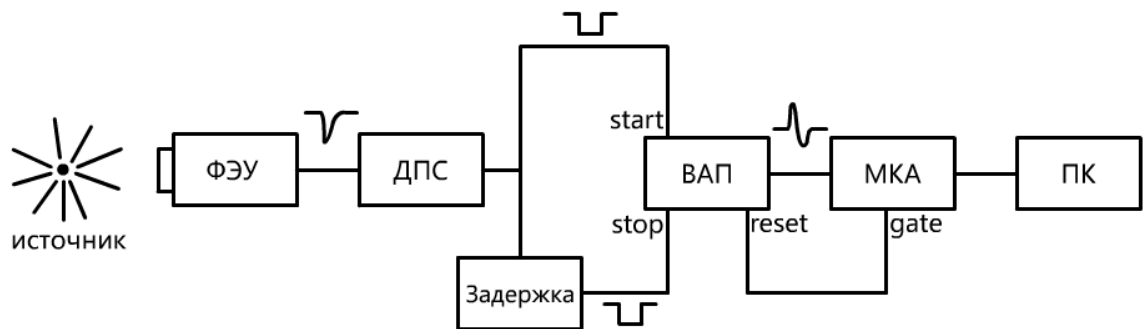


Рис.23. Схема для калибровки ВАП

Время задержки, выбирается вручную. При определённой задержке ВАП выпускает сигнал с определённой амплитудой. Задержка изменяется с шагом

1 нс, регистрируется спектр (Рис. 4). Затем определяем точное местоположение пиков и соответствующие длительности задержки. По этим точкам проводим линейную аппроксимацию и получим коэффициент пропорциональности (Рис.). Этот коэффициент пропорциональности приблизительно равен 2.826 пс/канал.

Видно, что линейность ВАП очень хорошая во всём диапазоне.

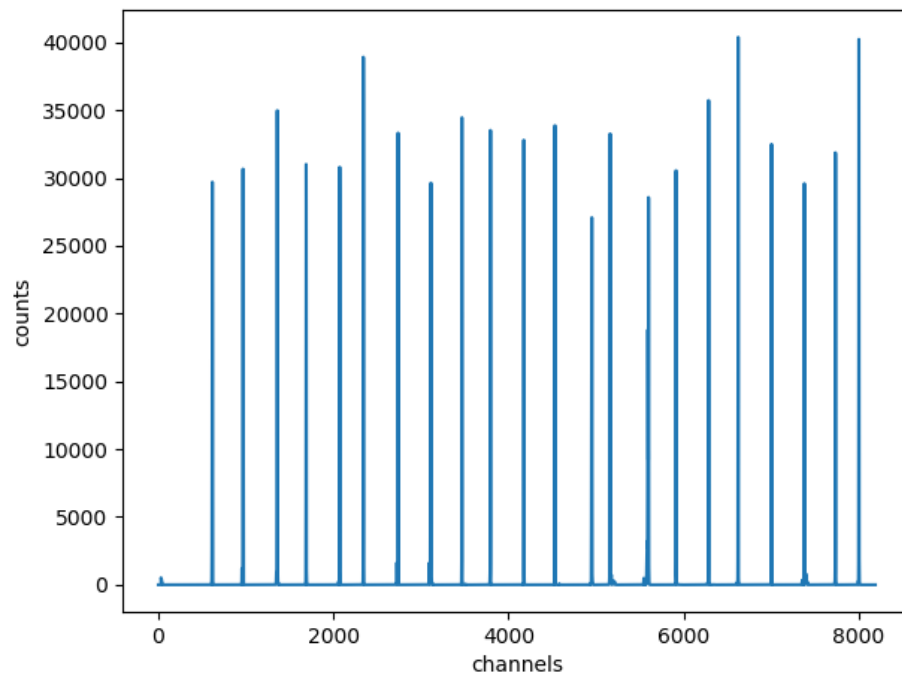


Рис. 24. Спектр в зависимости от задержки

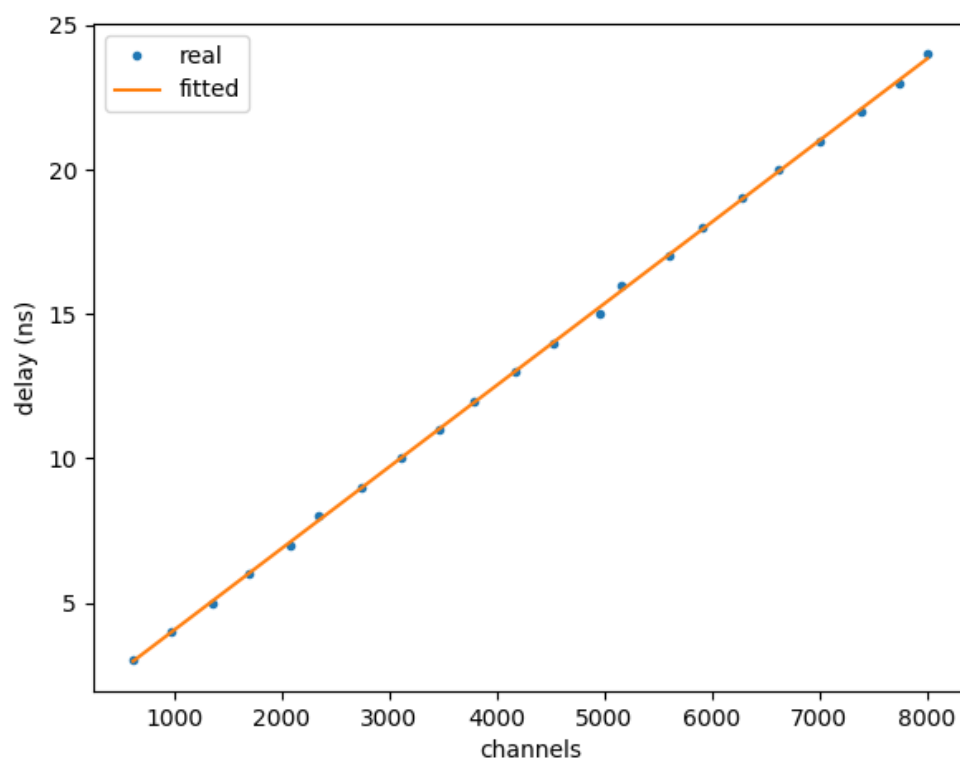


Рис. 25. Линейная аппроксимация временной калибровки

Регулирование окон энергии

Далее необходимо настроить пороги энергии обоих ДПС, чтобы обеспечивать на выходе с одного ДПС были сигналы от рождения позитронов, а на другом от аннигиляции.

На энергетическом спектре видно два пика. В основном видны лишь границы комптоновского рассеяния (англ. Compton edge), для двух типов фотонов. Из-за использования пластиковых сцинтилляторов фотопики (англ. photo peak) не наблюдаются. Поэтому амплитудную селекцию осуществляют по границам комптоновского рассеяния.

Вычисление энергии комптоновского рассеяния

Энергия комптоновского рассеяния может быть определена по следующей формуле. [21]

$$E_{\text{Compton}} = E_{\text{photo}} \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{2E}{m_e c^2}} \right) \quad (30)$$

Для источника ^{44}Ti , который мы используем, энергия фотонов и расчётная энергия комптоновского рассеяния показаны в таблице.

Таблица. 4. Энергия пиков фотонов

| | Фотопик (кэВ) | Комптоновская граница (кэВ) |
|-------|---------------|-----------------------------|
| Старт | 1157 | 948 |
| Стоп | 511 | 340 |

Определение Комptonских краев на спектре

Точное положение комптоновской границы на спектре производится следующим образом. [22] На энергетическом спектре найдём отрезки, соответствующие счёту А и счёту В. Потом на крае найдём точки, соответствующие счёту $(A+B)/2$ и $B/2$. Их соответствующие каналы С1 и С2 должны соответствовать энергиям Комptonских краев.

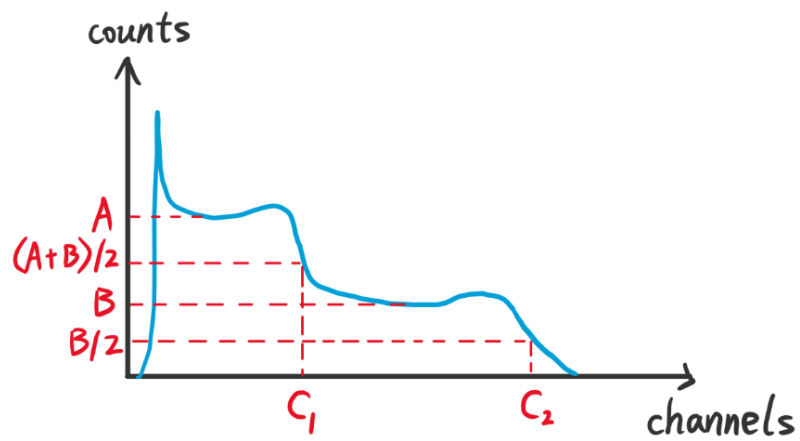


Рис. 2. Определение положения комптоновской границы на спектре

Реальный спектр может выглядеть не так хорошо (Рис. 3 и Рис. 4). На спектре детектора В совсем не видно левого пика.

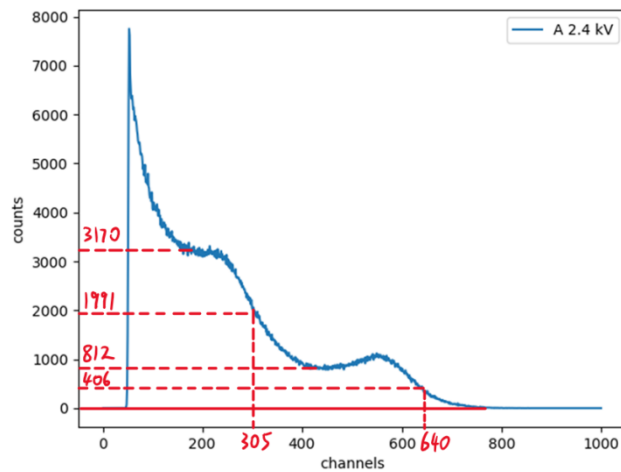


Рис. 3. Определение комптоновской границы для детектра А

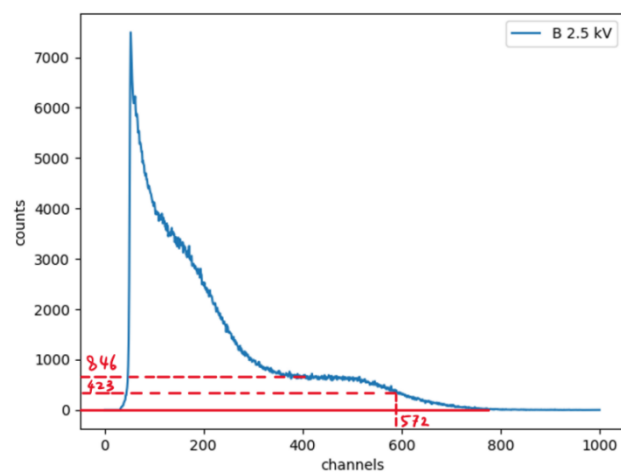


Рис. 4. Определение комптоновской границы для детектра В

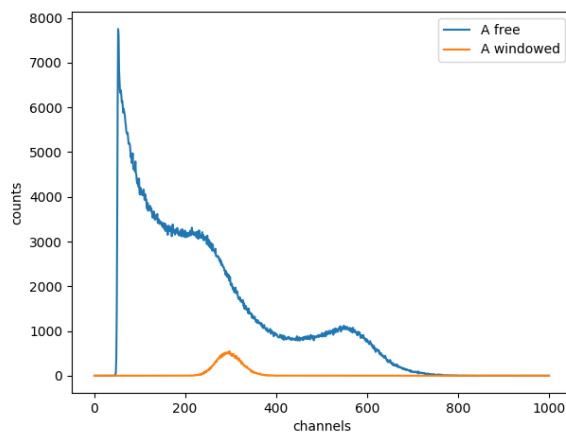
Зависимость между каналом и энергией

Для детектора А, используем С1 и соответствующую энергию 340 кэВ
вычисляем зависимость между каналом и энергией – $E = 1.117 * \text{chan.}$

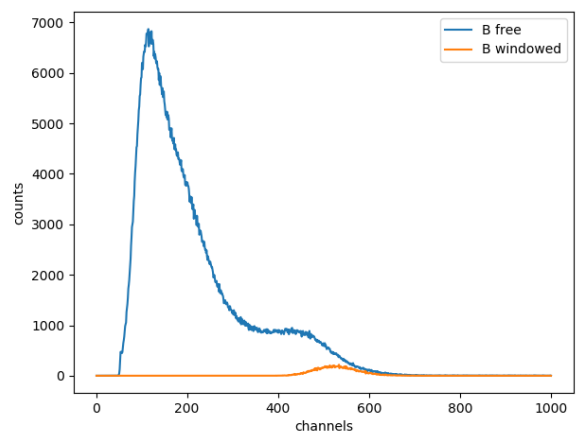
Для детектора В, используем С2 и соответствующую энергию 948 кэВ
вычисляем зависимость между каналом и энергией – $E = 1.7983 * \text{chan.}$

Выбор окон энергии

Необходимо добиться того, чтобы анализ производится по фотонам с энергией около комптоновской границы. Тогда энергетический спектр выглядит как Рис. 5.



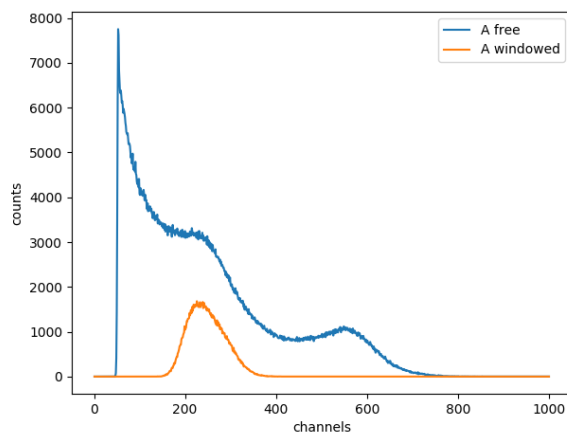
а) Амплитудное окно детектора А



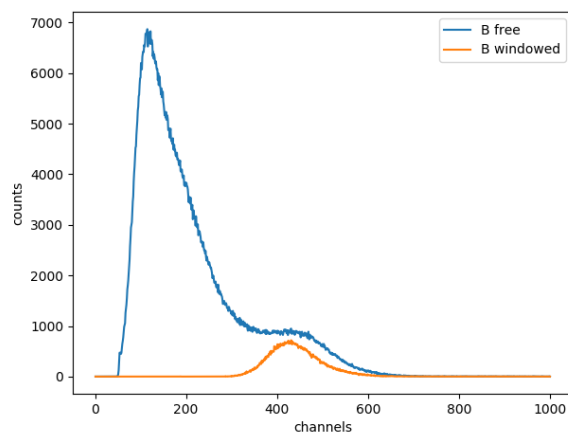
б) Амплитудное окно детектора В

Рис. 5. Амплитудные окна около комптоновской границы

Но при такой настройке, скорость счёта будет слишком медленной (меньше 1 раз/с). Учитывая скорость счёта, необходимо немного расширить амплитудные окна (Рис. 0), тогда скорость счёта достигает 40-50 соб./с.



а) Аптитудное окно детектора А



б) Аптитудное окно детектора В

Рис. 30. Аптитудные окна шире комптоновской границы на 15%

Измерение времени жизни позитронов

После калибровки и настройки системы, мы можем проводить измерения спектра времени жизни позитронов. При измерении мы поместили детекторы напротив друг друга, между ними помещаем сендвич (образец-источник-образец). Расстояние между двумя детекторами составляет приблизительно 1-2 см. Образец не располагается по центру, а находится немного выше.

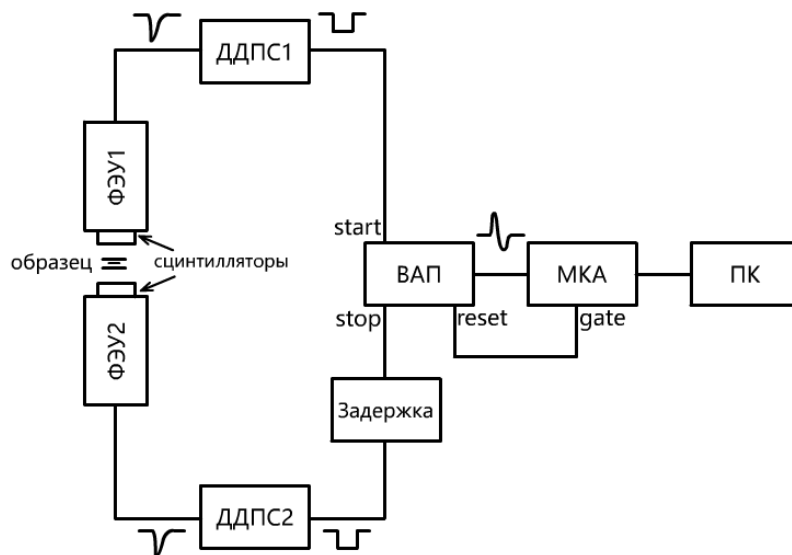


Рис. 31. Схема системы измерения спектра времени жизни позитронов

Поскольку скорость счёта составляет только 40-50 раз/с, для одного измерения требуется около 18 часов, чтобы записать более 3 миллиона событий. Таким образом, испытание каждого образца занимает около суток.

Полученный спектр времени жизни выглядит примерно, как показано на Рис2.

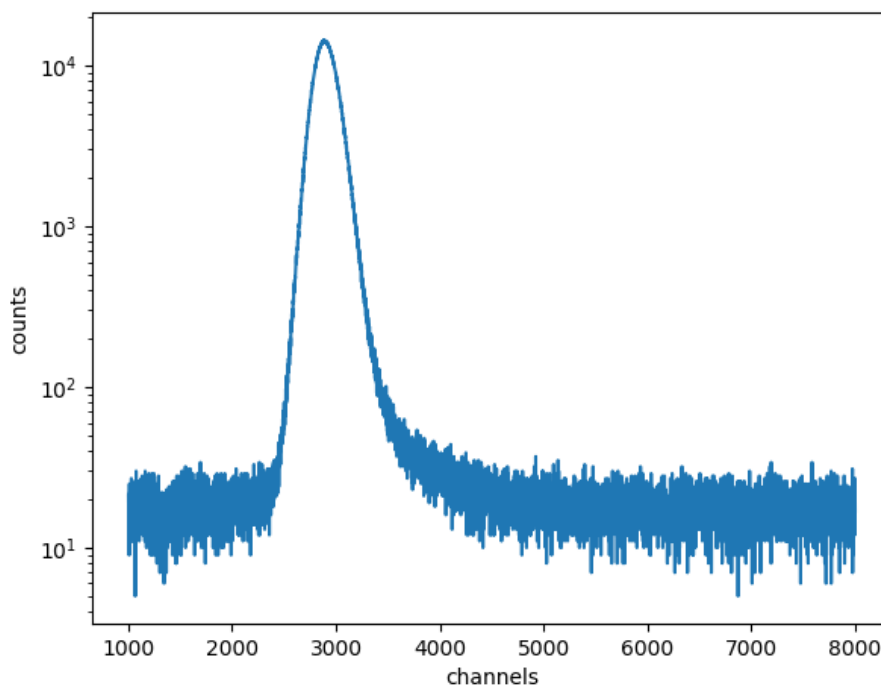


Рис. 32. Пример спектра времени жизни позитронов

2.3. Метод доплеровского уширения аннигиляционных линий (ДУАЛ)

В основе позитронной спектроскопии лежит исследование γ -квантов, испускаемых в результате аннигиляции позитронов и электронов, носящих информацию о микроструктуре материалов, например, плотности электронов, распределении импульсов электронов и т. д. Вследствие чего в каждой экспериментальной методике позитронной спектроскопии важное значение имеет способ детектирования γ -квантов. Каждая экспериментальная методика имеет различные требования к детекторам γ -квантов, т. е. необходимо использовать детекторы различных видов при реализации различных методов

измерения позитронной аннигиляции. Например, при измерении времени жизни позитронов применяется BaF₂ и пластический сцинтилляционный детектор, при измерении ДУАЛ используется детектор на основе особо чистого германия (ОЧГ), а при анализе углового распределения аннигиляционных фотонов (УРАФ) используется NaI (Tl) сцинтилляционный детектор.

При измерении ДУАЛ применяется детектор ОЧГ, который является полупроводниковым детектором типа р–п. При попадании γ -квантов в р–п область возникают пары электрон–дырки, под воздействием электрического поля электроны и дырки дрейфуют на два электрода соответственно и образуют электрический сигнал в выходном контуре. Преимущества такого детектора состоят в высоком энергетическом разрешении и широком линейном масштабе. Детектор ОЧГ обладает энергетическим разрешением несколько десятков раз больше, чем энергетическое разрешение NaI (Tl) детектора, а также относительно высокой эффективностью детектирования, вследствие этого целесообразно применяется детектор ОЧГ для исследования ДУАЛ. На рисунке 3 показана схема системы измерения ДУАЛ. Измеряемые детектором ОЧГ сигналы подвергаются постепенному увеличению и потом подаются в многоканальный анализатор (МКА), где формируется энергетический спектр аннигиляционных γ -квантов и γ -квантов, излучаемых источником позитронов. Спектрометр ДУАЛ имеет скорость счета примерно во 100 раз больше, чем система УРАФ, т.е. проведение измерения в течение 122 чс помощью источника позитронов с $1,85 \times 10^5$ Бк уже достаточно для обеспечения необходимой точности измерения. Однако по сравнению с установкой УРАФ система ДУАЛ имеет недостаточно высокое энергетическое разрешение. Кроме того, существует проблема стабильности электроники, с учетом чего необходима использовать систему стабилизации. Цифровой стабилизатор

спектра на многоканальном анализаторе позволяет в значительной степени ингибировать дрейф электроники системы.

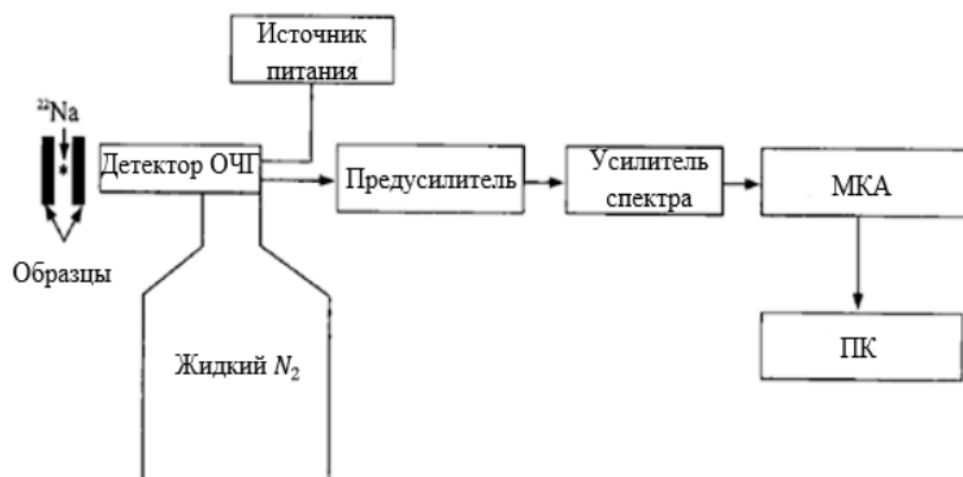


Рис. 33. Схема системы измерения ДУАЛ

Энергия электронов, как правило, составляет только несколько эВ. Если энергия электрона составляет 4 эВ, то в соответствии с формулой $\Delta v/v_L$, т. е. $\Delta E/E = v_L/c$, ΔE примерно составляет 1 кэВ, т. е. максимальное доплеровское уширение составляет только 2 кэВ. Для одного и того же образца изменение ΔE за счет изменения других факторов (например, температура образца, облучение, отжиг и т. д.) пренебрежимо мало. В результате чего для наблюдения небольшого сдвига доплеровского уширения в многоканальном анализаторе энергетическая ширина каждого канала должна устанавливаться максимально узкой. Как правило, если общее число каналов в многоканальном анализаторе составляет 8192, то можно устанавливать ширину канала равную 70~80 эВ/канал путем регулирования.

Анализ доплеровского спектра

Когда импульс позитронно-электронной пары не равен нулю, энергии двух аннигиляционных γ -квантов составляют $E = 511 \text{ кэВ} \pm p_{\parallel}/c/2$, где p_{\parallel} — продольное составляющее импульса позитронно-электронной пары. Одним из

самых эффективных методов расшифровки ДУАЛ является метод анализа линейных параметров, среди которых выделяются H параметр, W параметр, S параметр и D параметр. Рассмотрим подробно S параметр и W параметр.

$$S = \frac{A_s}{A_0} \quad (31)$$

где – A_s счет центральной области пика энергией 0,511 МэВ;

A_0 – общий счет целого пика.

Изменение S параметра отражает информацию об аннигиляции позитронов на электронах с низкими импульсами, т. е. на валентных электронах (в металле электронами с низкими импульсами служат электроны проводимости), которые несут информацию о структуре энергетической зоны материала и находящейся в зоне поверхности ферми.

$$W = \frac{A_w}{A_0} \quad (32)$$

где – счет крайней области пика.

W параметр отражает взаимодействие позитронов с центральными электронами с высокими импульсами. Например, в окрестности дефекта вида вакансии в электронную плотность вносит главный вклад валентные электроны вокруг атомов, в результате чего W параметр уменьшается и соответственно S параметр становится больше. Импульсы центральных электронов несут информацию о свойствах самого атома. Это объясняется тем, что в процессе образования вещества из отдельных атомов, на электроны внешней оболочки происходит общее соединение, но центральные электроны сохраняют информацию о самом атоме.[8]

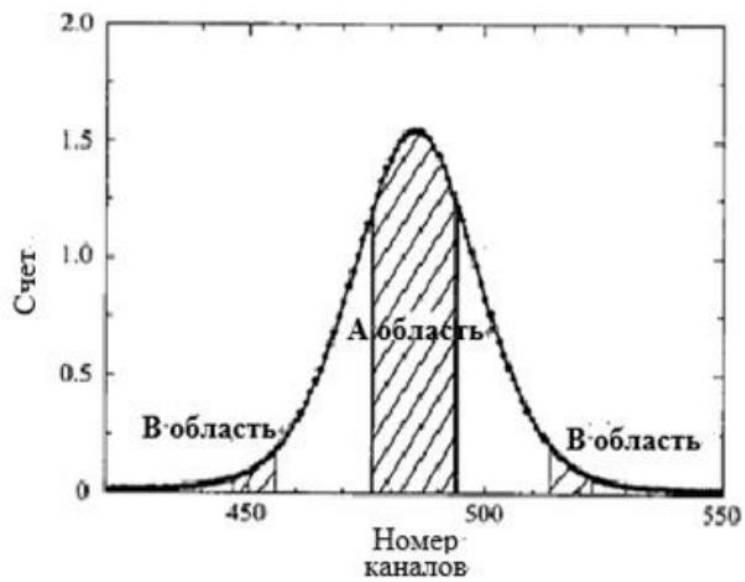


Рис. 34. Области определения S параметра и W параметра ДУАЛ.

ГЛАВА 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Организация и планирование работ

В процессе организации реализации конкретных проектов необходимо разумно планировать ситуацию с занятостью участников и рабочее время каждого человека. В следующей таблице 5.1 перечислены люди и имена, вовлеченные в работу.

Таблица 5.1 Участники проекта

| № раб. | Исполнители | Имя |
|--------|---------------------------|------------------------|
| 1 | Научный руководитель (НР) | Лаптев Роман Сергеевич |
| 2 | Студент-дипломник (И) | Ван Яньчжао |

При проведении исследований в выпускной работе необходимо строить рабочие группы для того, что достигнуть и выполнить конкретную цель. Для разных видов работ установите соответствующую должность исполнителя.

Таблица 5.2 Перечень работ и продолжительность их выполнения

| Этапы работы | Исполнители | Загрузка исполнителей |
|--------------------------------------|-------------|-----------------------|
| Проставление цель и задачи | НР | НР – 100% |
| Составление и утверждение ТЗ | НР | НР – 100% |
| Обзор литературы | НР, И | НР – 30% И – 100% |
| Обсуждение содержания литературы | НР, И | НР – 80% И – 100% |
| Построение экспериментальной системы | НР, И | НР – 100% И – 50% |
| Калибровочный лабораторный прибор | НР, И | НР – 100% И – 50% |

| | | |
|--|-------|-----------------------|
| Изготовление образца | НР | НР – 100% |
| Получение экспериментальных данных | НР, И | НР – 100% И – 100% |
| Анализ экспериментальных данных | НР, И | НР – 30% И – 100% |
| Оформление графического материала | И | И – 100% |
| Обсуждение экспериментальных результатов | НР, И | НР – 100% И – 100% |
| Подведение итогов | НР, И | НР – 60% И – 100% |

4.1.1 Продолжительность этапов работ

Чтобы рассчитать продолжительность этапа работы, есть два способа.

Первый — это технология и экономика: этот метод применим к полностью разработанной нормативно-правовой базе для трудоемкости процесса планирования, что, в свою очередь, обусловлено их высокой воспроизводимостью в стабильной среде. Поскольку подрядчики часто не имеют соответствующих стандартов, мы отказываемся от использования этого метода.

Второй – это опытно-статистический метод, который может быть реализован двумя способами: аналоговый и экспертный. Аналоговый метод возможен только при наличии устаревшего симулятора в поле зрения исполнителя. В большинстве случаев его можно применять только локально - для отдельных элементов (этап работы). Так что выбирайте экспертный метод для оценки. Экспертные методы пригодны для использования при отсутствии информационных ресурсов, а эксперты в конкретных предметных областях

проводят необходимые количественные оценки на основе своего профессионального опыта.

Здесь мы выбираем опытно-статистический метод, потому что мы не имеют соответствующих стандартов.

Рассчитываем ожидаемое время для каждого этапа по следующей формуле:

$$t_{ож} = (3t_{min} + 2t_{max})/5 \quad (11)$$

где $t_{ож}$ – ожидаемая продолжительность работы;

t_{min} – минимальная продолжительность работы;

t_{max} – максимальная продолжительность работы.

Рассчитать длительность этапов в рабочих днях и преобразовать ее в календарные дни, чтобы построить линейный график. Продолжительность в рабочих днях ($T_{рд}$) рассчитывается по формуле (2). А расчёт продолжительности работ в календарных днях ($T_{кд}$) ведётся по формуле (3).

$$T_{рд} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_{д} \quad (22)$$

$$T_{кд} = T_{рд} \cdot T_{к} \quad (3)$$

где $t_{ож}$ – ожидаемая продолжительность работы;

$K_{вн}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение длительностей (принимаем $K_{вн} = 1.2$);

$K_{д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ (принимаем $K_{д} = 1.1$);

$T_{к}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях.

Коэффициент календарности $T_{к}$ рассчитываемый по следующей формуле:

$$T_{к} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вд} - T_{пд}} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205 \quad (4)$$

где $T_{кал} = 365$ – календарные дни;

$T_{ВД} = 52$ – выходные дни;

$T_{ПД} = 10$ – праздничные дни.

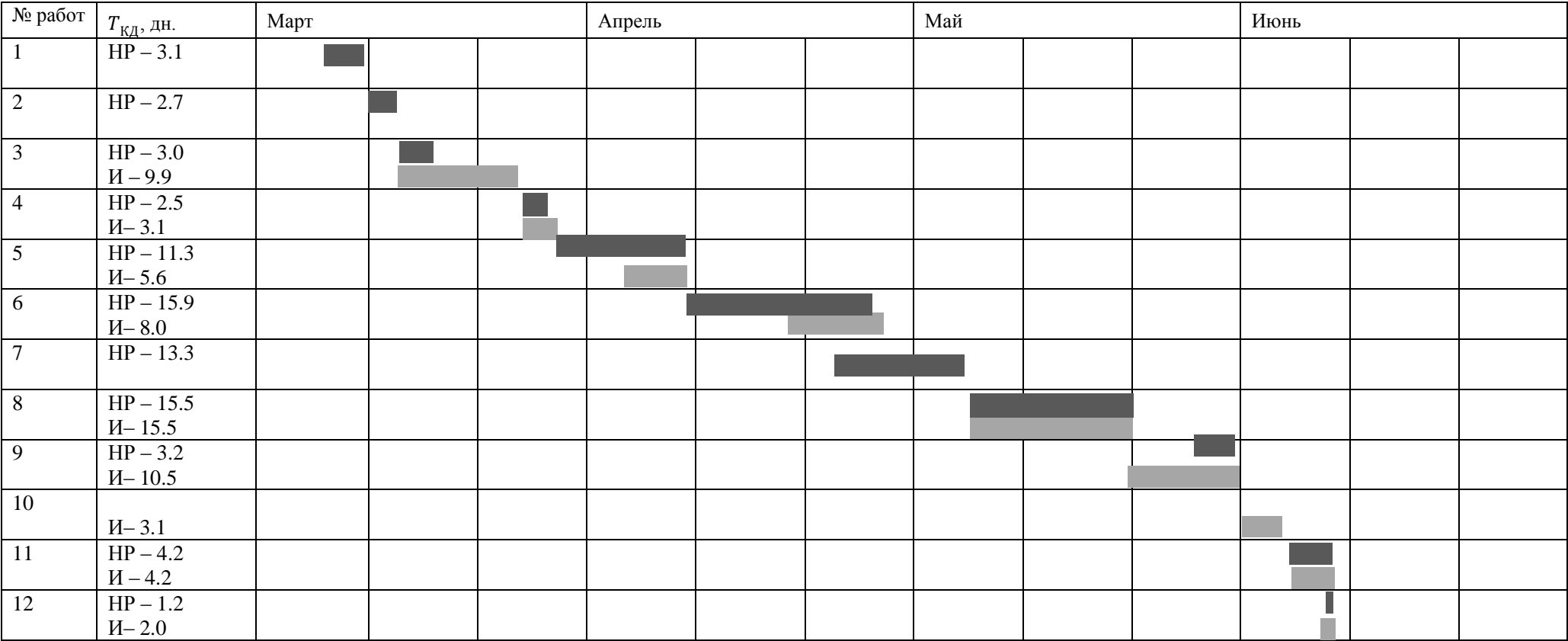
Рассчитываем по вышесказанным формулам. Трудозатраты на выполнение каждого этапа перечислены ниже в Табл 4.3. Потом построен линейный график работ в Табл. .4

Табл.5.1. Трудозатраты этапов проекта

| № работ | Этап | Исполнители | Продолжительность работ, дни | | | Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн. | | | |
|---------|--|-------------|------------------------------|------|------|--|------|------|------|
| | | | | | | ТРД | | ТКД | |
| | | | tmin | tmax | toж | НР | И | НР | И |
| 1 | Постановка целей и задач | НР | 2 | 4 | 2.8 | 2.6 | 0.0 | 3.1 | 0.0 |
| 2 | Составление и утверждение ТЗ | НР | 2 | 3 | 2.4 | 2.2 | 0.0 | 2.7 | 0.0 |
| 3 | Обзор литературы | НР, И | 7 | 12 | 9 | 2.5 | 8.3 | 3.0 | 9.9 |
| 4 | Обсуждение содержания литературы | НР, И | 2 | 4 | 2.8 | 2.1 | 2.6 | 2.5 | 3.1 |
| 5 | Построение экспериментальной системы | НР, И | 7 | 15 | 10.2 | 9.4 | 4.7 | 11.3 | 5.6 |
| 6 | Калибровочный лабораторный прибор | НР, И | 10 | 21 | 14.4 | 13.2 | 6.6 | 15.9 | 8.0 |
| 7 | Изготовление образца | НР | 10 | 15 | 12 | 11.0 | 0.0 | 13.3 | 0.0 |
| 8 | Получение экспериментальных данных | НР, И | 10 | 20 | 14 | 12.8 | 12.8 | 15.5 | 15.5 |
| 9 | Анализ экспериментальных данных | НР, И | 7 | 14 | 9.8 | 2.7 | 9.0 | 3.2 | 10.8 |
| 10 | Оформление графического материала | И | 2 | 4 | 2.8 | 0.0 | 2.6 | 0.0 | 3.1 |
| 11 | Обсуждение экспериментальных результатов | НР, И | 3 | 5 | 3.8 | 3.5 | 3.5 | 4.2 | 4.2 |

| | | | | | | | | | |
|----|----------------------|-------|---|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 12 | Подведение итогов | НР, И | 1 | 3 | 1.8 | 1.0 | 1.7 | 1.2 | 2.0 |
| | Итого: | | | | 62.8 | 51.6 | 75.7 | 62.2 | 90.8 |

Табл. 5.4. Линейный график работ



НР – ; И –

4.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

Стоимость создания проекта включает в себя все затраты, необходимые для реализации каждой из задач, которые составляют эту разработку. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- Затраты на материалы
- Затраты на электроэнергию
- Затраты на амортизацию оборудования
- Заработные платы
- Затраты на социальный налог
- Расходы, учитываемых непосредственно на основе платёжных (расчётных) документов (кроме суточных)
- Прочие затраты

4.2.1 Затраты на материалы

В этом эксперименте, чтобы измерить размер отверстия в образце углеродных нанотрбок (УНТ), мы использовали следующие материалы: одностенные УНТ, жидкость аргона, источник ^{44}Ti , а также экспериментальную одежду и резиновые перчатки, необходимые для эксперимента.

Табл. 5.2. Перечень материальных затрат

| Материал | Единица измерения | Цена за единицу, руб. | Количество | Сумма, руб. |
|--------------------------|-------------------|-----------------------|------------|-------------|
| Одностенные УНТ | г | 2500 | 0.1 | 250 |
| Жидкость аргона | л | 140 | 2 | 280 |
| Источник 44Ti | г | 608 | 0.5 | 304 |
| Экспериментальная одежда | шт. | 300 | 2 | 600 |
| Резиновые перчатки | шт. | 200 | 4 | 800 |
| Итого | | | | 2234 |

(транспортно-заготовительные расходы: $2234 \cdot 0,05 = 111,7$ руб.)

Тогда общий затрат на материалы: $C_{\text{мат}} = 2234 + 111,7 = 2345,7$ руб.

4.2.2 Затраты на электроэнергию

Рассчитать стоимость электроэнергии по следующей формуле.

$$C_{\text{эл}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{раб}} \cdot C_{\text{эл}} \quad 3)$$

где $C_{\text{эл}}$ – затрат на электроэнергию;

$P_{\text{об}}$ – мощность оборудования;

$t_{\text{раб}}$ – время работы оборудования;

$C_{\text{эл}}$ – цена на электроэнергию, в ТПУ $C_{\text{эл}} = 5.748$ руб./(кВт · час).

Потребляемая оборудованием мощность, определяется по следующей формуле.

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном}} \cdot K_c \quad 6)$$

где $P_{\text{об}}$ – потребляемая оборудованием мощность;

$P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность оборудования;

K_c – КПД при передаче электроэнергии.

В данном случае мощность оборудования не большая, принимаем $K_c = 1$. Тогда можем считать, что $P_{об} = P_{ном}$.

Во всем процессе проекта необходимо учитывается энергопотребление системы экспериментальных приборов. Эта система после создания и апробации необходимо продолжительно работать на протяжении всего эксперимента. Поэтому время работы гораздо больше рабочего времени человека. Кроме того, освещение лаборатории, вентиляция и кондиционирование воздуха работают 24 часа в сутки, поэтому это также необходимо учитывать. Ещё, для обработки данных, разработки программы и апробации алгоритма требует персональный компьютер. В данном случае время работы оборудования (компьютер) соответствует рабочему времени человека.

Табл.5.3. Перечень затраты на электроэнергию

| Оборудование | Время работы $t_{раб}, ч$ | Потребляемая Мощность $P_{об}, кВт$ | Цена единицы оборудования $C_{эл}, кВт/ч$ | Затраты на электроэнергию $C_{эл}, руб.$ |
|--|---------------------------------|---|--|--|
| Системы эксперимента льных приборов | 168 | 0.3 | 5.748 | 289.70 |
| Система вентиляции | | 0.1 | | 96.57 |
| Кондиционер | | 1.2 | | 1158.80 |
| Лампа | | 0.06 | | 57.93 |
| Компьютер | 50 | 0.2 | | 57.48 |
| Итого | | | | 1660.48 |

4.2.3 Затраты на амортизацию оборудования

В учёте затрат учитывается не только счёт за электроэнергию оборудования, но и амортизация оборудования. Амортизация рассчитывается по следующей формуле.

$$C_{\text{ам}} = \frac{H_a \cdot C_{\text{об}} \cdot t_{\text{рф}}}{F_{\text{д}}} \quad (7)$$

где $C_{\text{ам}}$ – амортизация оборудования;

H_a – годовая норма амортизации;

$C_{\text{об}}$ – балансовая стоимость оборудования с учётом транспортно-заготовительных расходов;

$t_{\text{рф}}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, задаётся исполнителем проекта;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд времени работы оборудования.

Табл. 5.4. Перечень затрат на оборудование (амортизации)

| Оборудование | Цена оборудования, $C_{\text{об}}$, тыс. руб. | Годовая норма H_a | Действительный годовой фонд времени $F_{\text{д}}$, ч | Время работы $t_{\text{рф}}$, ч | Амортизация , руб. |
|--|--|---------------------------|--|--|--------------------------|
| Системы экспериментальных приборов | 60 | 10% | 350×24=8400 | 168 | 120 |
| Система вентиляции | 10 | 10% | | | 20 |
| Кондиционер | 15 | 10% | | | 30 |

| | | | | | |
|--------------|-----|-----|-----------------------|----|--------------|
| Лампа | 1.5 | 40% | | | 12 |
| Компьютер | 30 | 40% | $303 \times 8 = 2424$ | 50 | 27.5 |
| Итого | | | | | 209.5 |

4.2.4 Расчет заработной платы

Среднедневная тарифная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{О_{\text{мес}}}{Д_{\text{мес}}} \quad 8)$$

где $З_{\text{дн}}$ – среднедневная тарифная заработная плата;

$О_{\text{мес}}$ – месячный оклад;

$Д_{\text{мес}}$ – среднемесячные рабочие дни;

Считаем, что рабочие дни в год $Д_{\text{год}} = 365 - 52 - 10 = 303$ дн. Тогда среднемесячные рабочие дни составляет $Д_{\text{мес}} = Д_{\text{год}} / 12 = 25.25$ дн.

Для учёта в составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов – $К_{\text{пр}} = 1.1$; $К_{\text{доп}} = 1.188$; $К_{\text{р}} = 1.3$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $К_{\text{и}} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$.

Табл. 5.5. Перечень заработных плат

| Исполнитель | Оклад, руб./мес. | Среднедневная ставка, руб./раб. дн. | Рабочее время, раб. дн. | Коэффицие нт | Фонд заработной платы, руб. |
|--------------|---------------------|---|-------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| НР | 33664.00 | 1122.1 | 62.2 | 1.699 | 118581.1 |
| И | 15470.00 | 515.7 | 90.8 | 1.62 | 62758.3 |
| Итого | | | | | 181439. 4 |

4.2.5 Затраты на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30% от полной заработной платы по проекту. Тогда затрат на социальный налог:

$$C_{\text{соц}} = C_{\text{зп}} \cdot 30\% = 51313.91 \text{ руб.}$$

9)

4.2.6 Прочие затраты

В данном разделе отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих разделах. считаем, что их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т. е.

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зл}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{зп.}} + C_{\text{соц}}) \cdot 0,1$$

Для нашего примера это

$$C_{\text{проч.}} = (2345,7 + 1660,48 + 209,5 + 181439,4 + 51313,91) \cdot 0,1 = 23642,37 \text{ руб.}$$

4.2.8 Формирование бюджета научно-исследовательского проекта

Консолидировать и суммировать расходы по вышеуказанным разделам. Все затраты на этот эксперимент представлены ниже в Табл. 5.6.

Табл. 5.6. Перечень всех затрат

| Затраты | Сумма, руб. |
|--|----------------|
| Затраты на материалы | 2345,7 |
| Затраты на электроэнергию | 1660.48 |
| Затраты на амортизацию оборудований | 209.5 |
| Заработные платы | 181439.4 |
| Затраты на социальный налог | 51313.91 |
| Прочие затраты | 23642.37 |
| Итого | 260163.16 |

4.2.9 Оценка экономической эффективности проекта

Результаты данной работы являются отдельным вкладом в решение общей задачи применения углеродных нанотрубок в процессе сорбции газа, то есть носят чисто научный характер. Следовательно, оценка их экономической эффективности невозможна.

СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

В эксперименте использовались некоторые инструменты. Главным из них является системой измерения спектра времени жизни позитронов.

Система измерения спектра времени жизни позитронов разработана для измерения жизни позитронов.

При работе на системе измерения спектра времени жизни позитронов на работников возможно воздействовать следующих вредных факторов:

Микроклимат; компьютер; опасность поражения электрическим током; радиация; эксплуатация газовых баллонов (аргон), работающих под давлением.

При неисправности в работе системы измерения спектра времени жизни позитронов возможна утечка газа, возгорание.

Итак, это необходимо исследовать его социальная ответственность. В разделе «социальная ответственность» рассмотрим все перечисленные вопросы. А также экологическую безопасность, типичную ЧС и меры, которые применяют при ее возникновении

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.

Лаборатория принадлежит университету ТПУ и является учебной аудиторией. При исследовании в лаборатории существуют много вредных и опасных факторов производства. При работах с вредными и опасными условиями труда, а также выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением, работникам бесплатно выдаются прошедшие обязательную, сертификацию или декларирование соответствия специальная одежда, специальная обувь и другие средства индивидуальной защиты, а также смывающие и (или) обезвреживающие средства в соответствии с типовыми

нормами. Исследователи допускаются к работе только в спецодежде и средствах индивидуальной защиты.

Для исключения возможности несчастных случаев должны проводиться обучение, инструктажи и проверка знаний работников требований безопасности труда.

На рабочем месте должны быть запасы сырья и материалов, не превышающие сменную потребность. Необходимо знать специфические свойства применяемых веществ и соблюдать установленные правила работы с ними. Производственный процесс должен быть организован так, чтобы не допускать выделения в воздух рабочей зоны пыли и вредных веществ.

Все эксплуатируемые электроустановки должны соответствовать требованиям «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей», и др. нормативных документов. Эксплуатация электрооборудования без заземления не допускается. Помещения опытно-производственной лаборатории обеспечиваются первичными средствами пожаротушения согласно действующим нормам.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.

Основным объектом в производственной среде является рабочее место, которое обычно представляет собой пространство, которое люди выражают в процессе производства. Рабочее место является основной подсистемой производственного процесса.

Следует учитывать модульные размеры рабочей поверхности рабочего стола ПК, на основе которых должны быть рассчитаны проектные размеры: ширина 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубина 800 и 1000 мм, нескорректированная высота 725 мм. Стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной не менее 500 мм, уровнем колен не менее 450 мм и удлиненным уровнем ног не менее 650 мм. Конструкция рабочего

кресла должна предусматривать: - поверхность сиденья имеет ширину и глубину не менее 400 мм; - поверхность сиденья имеет закругленную переднюю кромку; - регулирует высоту поверхности сиденья, диапазон составляет 400-550 мм, а угол наклона регулируется так, чтобы 15 градусов, 5 градусов и обратно; - высота опорной поверхности спинки 300 ± 20 мм, ширина - не менее 380 мм, 400 мм радиус кривизны горизонтальной плоскости; - угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах ± 30 градусов; - Отрегулируйте расстояние спинки переднего края сиденья до диапазона 260-400 мм; - Неподвижные или съемные подлокотники, длина не менее 250 мм, ширина 50-70 мм; - Отрегулируйте высоту подлокотника над сиденьем до 230 ± 30 мм.

5.2. Производственная безопасность.

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.

Основная часть государственной системы стандартизации устанавливает требования и нормы по видам опасных и вредных производственных факторов.

Для анализа и профилактики производственного травматизма профессиональной заболеваемости важное значение имеет классификация их причин. Несчастные случаи возникают в процессе неудовлетворительных условий труда в результате действия опасных и вредных производственных факторов.

Для анализа и профилактики производственного травматизма, вызванного профессиональными заболеваниями, очень важна классификация причин. Из-за опасных и вредных производственных факторов несчастные случаи происходят при неудовлетворительных условиях труда.

При анализе производственного травматизма и профессиональных заболеваний необходимо учитывать весь комплекс факторов, воздействующих на формирование безопасных условий труда [5].

Таблица 14. Опасные и вредные факторы при выполнении работ

| Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015) | Этапы работ | | | Нормативные документы |
|---|----------------|------------------|------------------|--|
| | Разраб отка | Изготов ление | Эксплуатац ия | |
| Отклонение показателей микроклимата | + | + | + | ГОСТ 12.1.003-2014 ССБГ. Шум. Общие требования безопасности [1], СанПин 2.2.4.548- 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [2], СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*[3], ГОСТ 12.1.030- 81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление [4]. |
| Превышение уровня шума | + | | | |
| Отсутствие или недостаток естественного света | + | + | + | |
| Недостаточная освещенность рабочей зоны | | | | |
| Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека | + | + | + | |

Можно выделить две группы факторов: производственно-технологические или объективные человеческие, к которым относятся:

1. все работающие (движущиеся) части станков, машин или цеховой транспорт, а также острые кромки и заусенцы деталей, заготовок, инструмента и оборудования
2. запыленность и загазованность цеха или рабочей зоны
3. некомфортный микроклимат цеха или участка
4. повышенная температура оборудования или материалов
5. повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте или в цехе

6. отсутствие или недостаток естественного освещения и недостаточность искусственного освещения цеха и рабочего места
7. электрическое оборудование токоведущие провода и кабели
8. наличие вредных и токсичных веществ

5.2.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.

Рабочее оборудование, перемещаемые детали, транспортировка в мастерской и острые кромки заусенцев на деталях, заготовках, инструментах и оборудовании являются источниками производственных травм - резания, поломки и т. д. Оборудование во время работы вырабатывает тепло, а нагретый металл во время обработки становится источником ожогов и термических ожогов. Все токонесущие и токоподводящие устройства могут стать причиной поражения электрическим током, если они не соблюдают меры предосторожности при работе.

Одним из вредных веществ в воздухе машиностроительной мастерской является пыль, которая является самой маленькой частицей в твердом веществе. Пыль, которая может находиться в воздухе в течение определенного периода времени, называется аэрозолем и называется аэрогелем по сравнению с осевшей пылью. Пыль оказывает серьезное неблагоприятное воздействие на дыхательные пути и легкие. Это может также оказать неблагоприятное воздействие на кожу и глаза в зависимости от его состава и типа. Токсичные или токсичные вещества включают свинец, марганец и хром. Эти частицы пыли могут попасть в организм или на кожу и вызвать острое или хроническое отравление.

По дисперсии (степени измельчения) можно различить пыль: грубая дисперсия - частицы размером более 10 микрон, средняя дисперсия - частицы с размером частиц от 10 до 5 микрон, мелкие и смога, с размером частиц менее 5 микрон. Мелкая пыль представляет наибольшую опасность для организма.

Промышленные объекты, дыхательные пути, вредные вещества в воздухе пищеварительного тракта (пар, газ, пыль) могут попадать в организм человека, вызывая острое и хроническое отравление при определенных условиях, а при попадании в атмосферу и постоянном воздействии и повышенной концентрации приводит к загрязнению.

Наличие чистого воздуха, необходимого химического состава и оптимальной температуры, влажности и скорости движения имеют важное значение для нормальной жизни человека.

Избыточное тепло и влага, загрязняющие воздух, а также газы, пары и пыль, могут быть выделены в процессе и обнаружены в производственной зоне во время работы машины, машины и оборудования.

Работающее оборудование, перемещаемые детали заготовки, цеховой транспорт, а также наличие острых кромок заусенцев на деталях, заготовках, инструменте и оборудовании является источником производственного травматизма – порезов ушибов переломов и т.д. Оборудование при работе выделяет тепло, и разогретый металл при обработке служит источником ожогов и тепловых травм. Все токоведущее и токопоглощающее оборудование при несоблюдении техники безопасности работы на нем может привести к поражению электрическим током.

Важнейшее значение для нормальной жизнедеятельности человека имеет наличие чистого воздуха, необходимого химического состава и имеющего оптимальные температуру, влажность и скорость движения.

В производственных помещениях при работе станков, машин, оборудования, от технологического процесса и нахождения работающих людей могут выделяться избыточное количество тепла и влаги, а также загрязняющих воздух газов, паров, пыли.

Длительное воздействие человеческого шума может привести к частичной потере слуха, повышению кровяного и внутреннего давления, повышенной утомляемости организма и повышению риска травм. Воздействие вибрации оказывает патологическое воздействие на весь организм человека, что приводит

к общей усталости и снижению внимания, что приводит к травмам на работе и хроническим профессиональным заболеваниям.

5.2.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.

Одним из вредных производственных факторов, действующих в цехах сервисного центра промышленной техники, является шум и радиация. При разработке технологического процесса, при организации рабочих мест следует принимать все необходимые меры по снижению шума, до значений не превышающих допустимые применением средств индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.051-87 [6]. В качестве средств индивидуальной защиты используют вкладыши, наушники, шлемы.

Средства и методы коллективной защиты от шума делятся на акустические, архитектурно-планировочные, организационно-технические.

К организационно-техническим методам защиты относятся применение малошумных технологий, оснащение шумных машин дистанционным управлением, использование рациональных режимов труда и отдыха.

Архитектурно-планировочные методы защиты от шума включают в себя рациональные акустические решения планировок зданий, рациональное размещение технологического оборудования, машин и механизмов.

Для устранения шума и вибрации в цехе применяются следующие мероприятия:

- а) Станки, установленные на фундаменты, виброизолированные от конструкции здания;
- б) Электродвигатели станков, установленные на демпфирующие прокладки;
- в) Сопряжение всасывающих и выхлопных воздухопроводов производится при помощи гибких патрубков.

Микроклимат производственных помещений - климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека

сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей.

Во всех случаях в воздухе, поступающем внутрь зданий и сооружений через приемные отверстия систем вентиляции и через проемы для естественной приточной вентиляции, содержание вредных веществ не должно превышать 30% ПДК, установленных для рабочей зоны производственных помещений.

Требуемое состояние воздуха рабочей зоны может быть обеспечено выполнением определенных мероприятий:

1. Механизация и автоматизация производственных процессов, дистанционное управление ими.
2. Применение технологических процессов и оборудования, исключающих образование вредных веществ или попадания их в рабочую зону.
3. Большое значение для оздоровления воздушной среды имеет надежная герметизация оборудования, в котором находятся вредные вещества.
4. Защита от источников тепловых излучений.
5. Устройство вентиляции и отопления.

Вытяжная вентиляция устанавливается на рабочем месте заточки инструмента, а также на рабочем месте электросварщика.

В качестве индивидуальных средств защиты у каждого рабочего должны быть защитные очки. Для удаления стружки из рабочей зоны станка – специальные крючки.

В проектируемом цехе установлено большое количество электрооборудования. Чтобы избежать поражения работающих электрическим током, оборудование необходимо заземлить.

Для защиты от поражения электрическим током также применяют зануление и защитные отключающие устройства.

Ионизирующие излучения – вредный фактор. При исследовании используется радиоизотоп ^{44}Ti в качестве источника позитронов. При аннигиляции позитронов выпускается ещё γ -излучение. В лаборатории

используемый источник является слабым, но длительное облучение увеличивает частоту возникновения рака и генетические заболевания.

Согласно СанПиН 2.6.1.2523-09, предел доз для исследователя составляет 20 мЭв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЭв в год. [8]

По защите исследователя от ионизирующих излучений, необходимо установить свинцовый экран на рабочем столе. Для хранения и использования радиоактивных источников необходимо использовать специализированный контейнер и инструменты. Ещё надо экипировать счётчик Гейгера людям, работающим с радиоизотопом.

5.3 Экологическая безопасность.

5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Вследствие относительной инертности углеродной нанотрубки считается, что он не оказывает отрицательного влияния на окружающую среду. Углеродная нанотрубка можно использовать повторно, она не разрушается, и как результат этого не загрязняет окружающую среду [7]. Другие металлы, когда подвергаются действию загрязняющих веществ окружающей среды, разъедаются или разрушаются от коррозии и выделяют ионы металла в грунтовые воды, что является причиной возникновения проблем в окружающей среде. С учетом обязательств, связанных со "спецификацией по строительству без вреда окружающей среде", преимуществами углеродной нанотрубки считаются его наибольшая степень инертности и наибольший срок службы по сравнению со всеми остальными архитектурными металлами [9]. Углеродная нанотрубка не оказывает плохое влияние на атмосферу, гидросферу и литосферу.

Однако во время эксперимента используются аргон. Утечка аргона не оказывает плохое влияние на атмосферу, гидросферу и литосферу.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.

Таблица 15 - Анализ возможных ЧС

| Чрезвычайная ситуация | Источники ЧС | Последствия ЧС |
|-----------------------|--------------------------------------|--|
| Пожар | Пожар, отравления продуктами горения | разрушение машин, ожоги, взрыв |
| Ураганный ветер | Природный фактор | Разрушение машин, зданий, травмирование и раздавливание людей летающими предметами и их осколками, взрыв |
| Ливневые дожди | Природный фактор | Затопление территории предприятия, разрушение зданий, летальные исходы |

5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.

К возникновению ЧС могут привести полное или частичное разрушение технологического оборудования [10].

К основным причинам и факторам, связанным с отказами оборудования, относятся:

- опасности, связанные с технологическими процессами;

- физический износ, коррозия, механические повреждения, температурные деформации оборудования или трубопроводов;
- ошибки обслуживающего персонала.

Основными причинами выбросов и утечек нефти могут быть:

- превышение рабочего давления;
- разрушение (полное или частичное) трубопроводов, оборудования и сооружений;
- отказы оборудования и технологических устройств.

Рассматриваются наиболее опасные варианты развития аварии:

- для технологических трубопроводов - связанные с порывом трубопровода на участке с максимальным давлением;
- для насосных - связанные с полным разрушением насоса [11].

5.4.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.

Организационные мероприятия касаются области управления ЧС. К ним относится планирование, комплексные проверки состояния объектов ГО, проведение на предприятиях контроля состояния сил и средств на предприятиях, установление персональной ответственности за проведение тех или иных видов работ, направленных на повышение надежности функционирования объекта в условиях ЧС и т. п [8].

Организационные мероприятия касаются области управления ЧС. К ним относится планирование, комплексные проверки состояния объектов ГО, проведение на предприятиях контроля состояния сил и средств на предприятиях, установление персональной ответственности за проведение

тех или иных видов работ, направленных на повышение надежности функционирования объекта в условиях ЧС и т. п.

На рис. 39 показан план эвакуации.

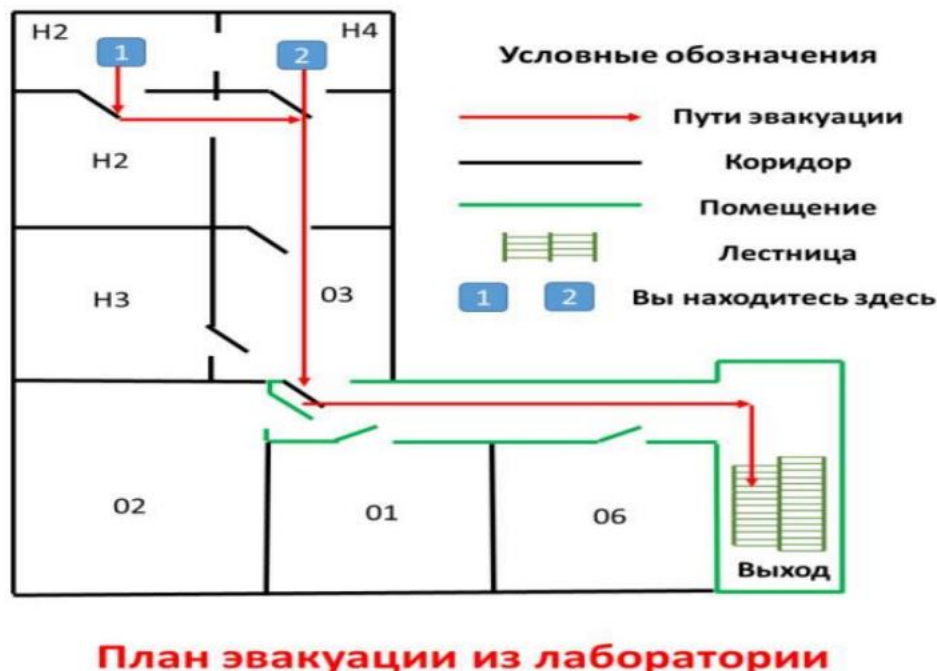


Рис. 39. План эвакуации

Мероприятия по минимизации потерь населения [12]:

Технические:

1. Ведение контроля за системой молниезащиты, за системой пожаробезопасности.
2. Ведение строгого контроля за условиями хранения химически опасного вещества.
3. Хранение СД и ЯВ в специализированных резервуарах и установка на них приборов, регистрирующих изменение параметры состояния вещества - в случае разгерметизации срабатывают сигнальные устройства.

Организационно – технические:

1. Установление персональной ответственности за проведение тех или иных видов работ, которые могут вызывать риск возникновения ЧС.
2. Установление ответственности за проведение работ по

- эвакуации работников предприятия при локализации аварии.
3. Использование сорбента и металлической пены при разливе СД и ЯВ.
 4. Ведение работ по прогнозированию возникновения химической опасности.
 5. Проведение учений для отработки действий при локализации ЧС.
 6. Обучение персонала методам активной защиты и использование СИЗ при возникновении ЧС.

Вывод

В этой части был выполнен анализ вредных и опасных факторов, рассмотрена экологическая безопасность и безопасность в чрезвычайных ситуациях и разработаны действия во избежание опасности. Были обоснованы мероприятия по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов и по предотвращению ЧС и была разработана порядка действия в случае возникновения ЧС. В реальной работе можно использовать их обеспечивать безопасность.

Список литературы

- [1] ГОСТ 12.1.003-2014 ССБГ. Шум. Общие требования безопасности.
- [2] СанПин 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- [3] СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.
- [4] ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
- [5] ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
- [6] ГОСТ 12.4.051-87 (СТ СЭВ 5803-86) Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты органа слуха. Общие технические требования и методы испытаний

[7] ГОСТ 12.1.008-76 ССБТ. Биологическая безопасность. Общие требования.

[8] ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

[9] ГОСТ Р ИСО 1410-2010. Экологический менеджмент. Оценка жизненного Цикла. Принципы и структура.

[10] ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения.

[11] ГОСТ Р 22.0.07-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров.

[12] Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. No. 68-ФЗ. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (с изменениями и дополнениями).

Заключение

В результате проделанной работы рассмотрены теоретические основы методов позитронной аннигиляции и технология их реализации, а также их применение для исследования углеродных нанотрубок. Реализован способ измерения временного распределения аннигиляции позитронов на основе радиоизотопа ^{44}Ti для проведения исследования закономерности аннигиляции позитронов в УНТ в зависимости от давления. Измерены ВРАП в одностенных УНТ. Проведены анализа ВРАП в зависимости от давления при механическом нагружении и давлении газа аргона.

Основываясь на результатах исследований, показано, что при механическом нагружении, с увеличением давления свободный объем уменьшается, а случае повышения давления аргоном свободный объем не изменяется. Таким образом, механическое нагружение приводит к сокращению объема пор и уменьшению свободного объема УНТ. В то время как атомы аргона способствует образованию позитрония, не проникая через стенку УНТ, что не влияет на свободный объем УНТ.

Список использованных источников

1. 沈德勋, 滕敏康. 正电子湮没谱学及其应用[M].北京: 原子能出版社, 2000:6.
2. TAO S J. J Phys chem, 1972, 56:5499—510.
3. Е. А. Беленков, Ю.А. Зинатулина. Топологические дефекты графеновых слоёв.
4. Е. А. Беленков, Ю.А. Зинатулина. (2009). Структура соединений однослойных УНТ на основе комбинированных топологических дефектов 5-7 и 4-8.Физика твёрдого дела. Том 52.вып. 54, 814.
5. 沈德勋, 滕敏康. 正电子湮没谱学及其应用[M].北京: 原子能出版社, 2000:6.
6. 沈德勋, 滕敏康. 正电子湮没谱学及其应用[M].北京: 原子能出版社, 2000:11—13.
7. С.В.Степанов, В.М. Бяков. (2002). Что говорят позитроны о структуре и свойствах жидких сред? Журнал структурной химий. Том 43, № 6,1028.
8. 沈德勋, 滕敏康. 正电子湮没谱学及其应用[M].北京: 原子能出版社, 2000:79—85.
9. 张礼红, 成斌, 张杰, 张丽娟, 郭卫峰, 刘建党.正电子谱学技术在功能材料微结构表征中的作用[J].中国科学物理学院专刊·论文.2012(42 卷 11 期): 1221—1224
10. 陈祥磊.碳纳米管束中的正电子理论[J].物理学报.2007 (56 卷 11 期): 6696—6699.
11. 李卓昕, 王丹妮, 王宝义, 薛得胜, 魏龙, 秦秀波. 不同气氛下多孔硅中电子偶素湮没行为研究[J].物理学报.2010 (59 卷 9 期): 6647—6648.
12. 沈德勋, 滕敏康. 正电子湮没谱学及其应用[M].北京: 原子能出版社, 2000:24.
13. TAO S J. J Phys chem, 1972, 56:5499—510.

14. Eldrup M, Lightbody D, Sherwood J N. *chem Phys*, 1981, 63:51—8.
15. Shukla A. Melt 4.0 Program for positron lifetime analysis [J]. *Material science forum*, 1997, 233—237.
16. Shukla A. Melt 4.0 Program for positron lifetime analysis [J]. *Material science forum*, 1997, 233—237.
17. 陈祥磊. 碳纳米管束中的正电子理论 [J]. *物理学报*. 2007 (56 卷 11 期) : 6696—6699.
18. 张礼红, 成斌, 张杰, 张丽娟, 郭卫峰, 刘建党. 正电子谱学技术在功能材料微结构表征中的作用 [J]. *中国科学物理学院专刊·论文*. 2012 (42 卷 11 期) : 1221-1222
19. B. H. Biritz, «Determining the Optimum High Voltage for PMT's, 2006.
20. Б. Ю. С., «Реализация и применение методов электрон-позитронной аннигиляции для исследования дефектной структуры материалов,» Томск, 2013.
21. «Compton edge» [B Интернетe]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Compton_edge.
22. P. T. J. Paulus, «Optimization of a state-of-the-art positron lifetime measurement apparatus, China Nuclear Society Seminar, Beijing, 1985.
23. Xin Yan-Bo Hu Qi Niu Dong-Hua Zheng Xiao-Hu Shi Hong-Liang Wang Mei Xiao Zhi-Song, Research progress of hydrogen tunneling in two-dimensional materials. *Acta Physica Sinica*, 66, 056601 (2017) .
24. Ore A 1949 Univ. Bergen Arbok No.9.
25. Griffith T C and Heyland G R 1978 *Phys. Rep.* 39 169.
26. Yasuke Sano, Yasushi Kino, Energy Loss of Positrons below the Excitation Threshold in Ar Gas. *Proc. 2nd Japan-China Joint Workshop on Positron Science. JJAP Conf. Proc.* (2014) 011004.